



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE141599

**PENYEDERHANAAN PERHITUNGAN NILAI BUSUR API
MENGUNAKAN METODE KURVA BATAS ENERGI DI PT
CHANDRA ASRI YANG TERINTEGRASI DENGAN PT TRI
POLYTA**

Moh. Agus Syahri Romadhon
NRP 2213105015

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. Teguh Yuwono

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE141599

**SIMPLIFIED ARC HAZARD ANALYSIS USING ENERGY
BOUNDARY CURVES AT PT CHANDRA ASRI INTEGRATED
WITH PT TRI POLYTA**

Moh Agus Syahri Romadhon
NRP 2213105015

Advisor
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. Teguh Yuwono

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

**PENYEDERHANAAN PERHITUNGAN NILAI BUSUR API
MENGUNAKAN METODE KURVA BATAS ENERGI DI PT
CHANDRA ASRI YANG TERINTEGRASI DENGAN PT
TRIPOLYTA**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

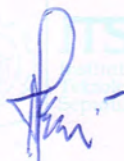
Dosen Pembimbing I



Dr. Ir. Margo Pujiانتara, MT.

NIP. 196603181990101001

Dosen Pembimbing II



Ir. Teguh Yuwono

NIP. 195008061976121002



PENYEDERHANAAN PERHITUNGAN NILAI BUSUR API MENGGUNAKAN METODE KURVA BATAS ENERGI DI PT CHANDRA ASRI YANG TERINTEGRASI DENGAN PT TRI POLYTA

Moh Agus Syahri Romadhon
2213105015

Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Dosen Pembimbing II : Ir. Teguh Yuwono

ABSTRAK

Analisa terhadap busur api dilakukan untuk melindungi pekerja pada area yang berpotensi terjadi paparan listrik. Berdasarkan standar IEEE 1584-2002 yang menganalisa bahaya busur api pada sistem tenaga listrik, dapat ditentukan mengenai persyaratan pakaian pelindung terhadap pekerja atau Personal Protective Equipment (PPE). Sebuah metode penyederhanaan yang mengacu standar IEEE 1584-2002 untuk menentukan secara tepat dan akurat dalam penentuan standar PPE dan pemilihan overcurrent protective device (OCPD). Teknik analisa penyederhanaan ini dapat diterapkan pada bermacam-macam OCPD pada suatu sistem tenaga listrik sesuai dengan kemampuan persamaan empiris IEEE 1584. Disajikan secara akurat dalam penentuan PPE dan perhitungan jarak maksimum perlindungan agar cukup untuk melindungi pekerja dari bahaya terjadinya busur api. Studi aktual penyederhanaan analisa terhadap busur api dilakukan pada plant PT Chandra Asri yang menunjukkan adanya pengurangan dalam jumlah pengambilan data dan waktu analisa secara signifikan setelah menggunakan metode kurva batas energi.

Kata kunci: busur api, kurva batas energi, personal protective equipment, overcurrent protective device

Halaman ini sengaja dikosongkan

***SIMPLIFIED ARC HAZARD ANALYSIS USING
ENERGY BOUNDARY CURVES AT PT CHANDRA
ASRI INTEGRATED WITH PT TRI POLYTA***

Moh Agus Syahri Romadhon
2213105015

1st Advisor : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

2nd Advisor : Ir. Teguh Yuwono

ABSTRACT

Arcflash hazard assesment must be performed in order to protect workers in areas that potentially have an electrical arcflash event. Based on the IEEE 1584-2002 standard that analyzed the hazards of arcflash at power system, can be determined on the requirements of the Personal Protective Equipment (PPE). A simplification method that refers to the IEEE 1584-2002 standard to determine precisely and accurately in the determination and selection of PPE levels and also overcurrent protective device (OCPD). This simplification analysis techniques can be applied to a variety of OCPD in an electric power system in accordance with the empirical equation ability to accurately IEEE 1584. Allow for an accurate determination of PPE levels and the maximum flash protection boundary distance in order to protect workers adequately from the the arcflash. The actual study simplification of the analysis of arcflash on plant PT Chandra Asri, which showed a reduction in the amount of data-collection requirements and analysis time required after using the energy boundary curves.

Keywords: arcflash, energy boundary curves, personal protective equipment, overcurrent protective device

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil 'Alamin, terucap syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia terutama berupa kekuatan, kesabaran, dan kelancaran sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul:

Penyederhanaan Perhitungan Nilai Busur Api Menggunakan Metode Kurva Batas Energi di PT Chandra Asri yang Terintegrasi dengan PT Tri Polyta

Tujuan utama dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 di Bidang Studi Teknik Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Segenap keluarga, Ibu dan adek tercinta yang selalu memberikan dukungan dan doa bagi putranya.
2. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT dan Bapak Ir. Teguh Yuwono, selaku dosen pembimbing yang banyak memberikan saran dan bimbingan bagi Tugas Akhir ini.
3. Niken A.B yang memberi semangat, inspirasi serta teman-teman angkatan lintas jalur yang tidak dapat Saya sebutkan namanya satu persatu.
4. Seluruh keluarga besar Jurusan Teknik Elektro ITS, para dosen, karyawan, dan kawan-kawan atas dukungan, masukan, dan kerjasamanya selama proses perkuliahan dan pengerjaan tugas akhir.

Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan masukan bagi banyak pihak.

Surabaya, Juni 2015

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

	HALAMAN
JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
 BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Metode Penelitian	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
1.7 Relevansi	4
 BAB 2 DASAR TEORI	
2.1 Pengertian Busur Api	5
2.2 Metode Perhitungan Busur Api dengan Menggunakan Standar IEEE 1584-2002	5
2.3 Metode Perhitungan Busur Api dengan Kurva Batas Energi	8
2.4 Jarak Aman Perlindungan	8
2.5 Pengelompokan Kategori PPE Sesuai dengan Standar NFPA 70E-2004	9

BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT CHANDRA ASRI DAN PT TRI POLYTA

3.1 Sistem Kelistrikan PT Chandra Asri	17
3.1.1 Distribusi Sistem Kelistrikan PT Chandra Asri	19
3.1.2 Klasifikasi Beban PT Chandra Asri.....	21
3.1.3 Beban Prioritas PT Chandra Asri	27
3.2 Sistem Kelistrikan PT Tri Polyta	28
3.2.1 Distribusi Sistem Kelistrikan PT Tri Polyta	31
3.2.2 Klasifikasi Beban PT Tri Polyta	32

BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

4.1 Analisa Busur Api.....	37
4.2 Perhitungan Busur Api dengan Menggunakan Standard IEEE 1584-2002	37
4.3 Perhitungan Busur Api dengan Menggunakan Metode Kurva Batas Energi	43
4.3.1 Penentuan kurva batas Energi untuk tegangan 6 kV	43
4.3.2 Perhitungan Kurva Batas Energi untuk Tegangan 20 kV ..	46
4.3.3 Perhitungan Jarak Aman Batas Perlindungan.....	48
4.3.4 Penggunaan Kurva Batas Energi untuk Menentukan PPE Bus OUTERING.....	49
4.3.5 Penggunaan Kurva Batas Energi untuk Menentukan PPE Bus ISBL	52
4.3.6 Penggunaan Kurva Batas Energi untuk Menentukan PPE Bus OSBL	54
4.3.7 Penggunaan Kurva Batas Energi untuk Menentukan PPE Bus TRAIN 3	56
4.3.8 Penggunaan Kurva Batas Energi untuk Menentukan PPE Bus BTF.....	58
4.3.9 Penggunaan Kurva Batas Energi untuk Menentukan PPE Bus A-SWM 2010	60
4.3.10 Penggunaan Kurva Batas Energi untuk Menentukan PPE Bus A-1	62

4.3.11 Penggunaan Kurva Batas Energi untuk Menentukan PPE Bus 102-3	64
4.4 Perbandingan antara Perhitungan Standar IEE 1584-2002 dengan Kurva Batas Energi	66
BAB 5 PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	69
5.1 Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	73
BIODATA PENULIS	

DAFTAR TABEL

	HALAMAN
Tabel 2.1 Tabel data jarak celah bus	7
Tabel 2.2 Tabel data parameter-parameter yang dibutuhkan untuk perhitungan insiden energi	8
Tabel 2.3 Kategori personal protection equipment (PPE)	13
Tabel 2.4 Waktu operasi <i>circuit breaker</i>	15
Tabel 2.5 NFPA 70E kategori <i>arc flash</i>	17
Tabel 3.1 Daftar transformator daya	19
Tabel 3.2 Daftar motor feeder main utility 1	22
Tabel 3.3 Data beban lump feeder main utility 1	22
Tabel 3.4 Data motor feeder main utility 2	23
Tabel 3.5 Data beban lump main utility 2	24
Tabel 3.6 Data motor feeder ethylene	24
Tabel 3.7 Data lump feeder ethylene	25
Tabel 3.8 Data motor feeder polyethylene	26
Tabel 3.9 Data lump feeder polyethylene	26
Tabel 3.10 Data motor tank yard 1	28
Tabel 3.11 Data lump tank yard 1	28
Tabel 3.12 Data motor tank yard 2	28
Tabel 3.13 Data lump tank yard 2	28
Tabel 3.14 Data transformator PT Tri Polyta	32
Tabel 3.15 Daftar motor pada substation ISBL	33
Tabel 3.16 Daftar lump pada substation ISBL	33
Tabel 3.17 Daftar motor pada substation OSBL	33
Tabel 3.18 Daftar lump pada substation OSBL	34
Tabel 3.19 Data motor pada substation TRAIN 3	34
Tabel 3.20 Data lump pada substation TRAIN 3	34
Tabel 3.21 Data motor pada substation BTF	35
Tabel 3.22 Data lump pada substation BTF	35
Tabel 4.1 Data tegangan, Isc bolted dan FCT pada bus yang dianalisa	37

Tabel 4.2	Hasil perhitungan busur api menggunakan standar IEEE 1584-2002.....	38
Tabel 4.3	Hasil perbandingan metode perhitungan IEEE 1584-2002 dengan metode penyederhanaan kurva batas energi	66
Tabel 4.4	Standar PPE untuk setiap bus yang dianalisa.....	67
Tabel 2.2	Tabel data parameter-parameter yang dibutuhkan untuk perhitungan insiden energi	8

DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2.1	Ilustrasi zona jarak aman batas perlindungan..... 11
Gambar 3.1	Single line diagram PT Chandra Asri..... 18
Gambar 3.2	Single line diagram PT Tri Polyta 30
Gambar 3.3	Single line diagram PT Chandra Asri integrasi PT Tri Polyta.....38
Gambar 4.1	Kurva batas energi untuk tegangan 1-15 kV 46
Gambar 4.2	Kurva batas energi untuk tegangan diatas 15 kV 47
Gambar 4.3	Relay 2-P sebagai pengaman utama bus OUTERING . 50
Gambar 4.4	Kurva relay 2-P dengan kurva batas energi diatas 15kV 15
Gambar 4.5	Relay 18-P sebagai pengaman utama bus ISBL 52
Gambar 4.6	Kurva relay 18-P dengan kurva batas energi 6 kV 53
Gambar 4.7	Relay 16 sebagai pengaman utama bus OSBL 54
Gambar 4.8	Kurva relay 16 dengan kurva batas energi 1-15 kV 55
Gambar 4.9	Relay 12-P sebagai pengaman utama bus TRAIN 3 56
Gambar 4.10	Kurva relay 12-P dengan kurva batas energi..... 57
Gambar 4.11	Relay 7-P sebagai pengaman utama bus BTF 58
Gambar 4.12	Kurva relay 7-P dengan kurva batas energi..... 59
Gambar 4.13	Relay A1-1 dan A1-2 sebagai pengaman utama bus A-SWM 2010..... 60
Gambar 4.14	Kurva relay AI-1 dan AI-2 dengan kurva batas energi. 61
Gambar 4.15	Relay U1-A1 sebagai pengaman utama bus A-1 62
Gambar 4.16	Kurva relay U1-A1 dengan kurva batas energi 63
Gambar 4.17	Relay U1-AF-5 sebagai pengaman utama bus 102-3 ... 64
Gambar 4.18	Kurva relay U1-AF-5 dengan kurva batas energi..... 65

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .

PT Chandra Asri melakukan ekspansi bisnis dengan jalan merger bersama PT Tri Polyta. Kedua perusahaan tersebut sebelumnya adalah sama-sama perusahaan petrochemical. Bersatunya kedua perusahaan tersebut bertujuan untuk menghasilkan keuntungan yang sinergis, dimana sebelumnya PT Tri Polyta membutuhkan bahan mentah yang disuplai oleh PT Chandra Asri. Dan setelah merger akan menghasilkan efisiensi perusahaan baik dalam segi keuangan, manajemen, dan juga kebutuhan pasokan listrik yang digunakan.

Adanya integrasi antara kedua perusahaan tersebut dalam hal pasokan listrik, sehingga diperlukan evaluasi lebih dalam agar terhindar terhadap gangguan-gangguan yang tidak diinginkan. Salah satu gangguan yang dapat menyebabkan ancaman terhadap keselamatan jiwa para pekerja ialah akibat bahaya busur api, diakibatkan dari munculnya arus *arcing fault*. *Arcing fault* sendiri dapat didefinisikan sebagai aliran arus listrik mengalir pada saluran yang seharusnya tidak teraliri arus. Arus tersebut menciptakan sebuah plasma busur listrik dan melepaskan sejumlah energi yang berbahaya. Busur api listrik merupakan bagian dari arus listrik yang besar melalui udara yang terionisasi. Busur api diakibatkan dari *arcing fault* antar fase bus-bar atau dengan netral (ground). Selama *arc fault* terjadi udara dapat menjadi konduktor dan biasanya muncul pada tegangan lebih dari 120 volt.

Perhitungan bahaya busur api dengan menggunakan standart IEEE 1584-2002 membutuhkan banyak parameter dalam perhitungannya. Jika perhitungan tersebut diterapkan pada perusahaan yang terdapat banyak bus, maka perhitungan tersebut membutuhkan waktu yang lama. Berdasarkan hal tersebut maka digunakan perhitungan busur api dengan menggunakan metode kurva batas energi. Dengan menggunakan metode kurva batas energi maka data yang diperlukan lebih sedikit dan waktu pengerjaannya lebih singkat.

1.2 Permasalahan

Perumusan masalah yang dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Analisa bahaya busur api dengan metode standard IEEE 1584-2002
2. Analisa bahaya busur api dengan metode kurva batas energi

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Analisa busur api menggunakan persamaan kurva batas energi.
2. Penentuan kategori busur api dan PPE (Personal Protective Equipment) berdasarkan dari hasil analisa

1.4 Tujuan

Tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memodelkan, mensimulasikan dan mengevaluasi unjuk kerja sistem berdasarkan permasalahan bahaya busur api.
2. Membuktikan bahwasannya dengan menggunakan metode kurva batas energi dapat mempercepat perhitungan analisa bahaya busur api.

1.5 Metode Penelitian

Metode yang akan digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah :

1. Studi Literatur
Studi tentang analisa hubung singkat, koordinasi proteksi, dan analisa perhitungan busur api.
2. Pengumpulan Data
Mengumpulkan data sistem kelistrikan yang digunakan PT. Chandra Asri.
3. Pemodelan dan Simulasi
Pemodelan sistem kelistrikan PT. Chandra Asri dan PT Tri Polyta dengan menggunakan *software* ETAP 7.5. Simulasi kurva batas energi dengan menggunakan *software* ETAP STAR.

4. Analisa Data
Hasil simulasi akan dianalisa untuk mengetahui *Personal Protection Equipment* (PPE) yang harus digunakan. Sebagai dasar bahaya busur api yang digunakan mengacu dari National Fire Protection Association (NFPA) 70E-2004
5. Kesimpulan dan Saran
Berisi tentang kesimpulan dari permasalahan Tugas Akhir serta rekomendasi yang dapat dilakukan.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini disusun menjadi beberapa bab dan diuraikan dengan pembahasan sesuai daftar isi. Sistematika penyusunan laporannya adalah sebagai berikut :

- | | |
|-------|---|
| Bab 1 | Pendahuluan
Penjelasan tentang latar belakang, permasalahan, tujuan penulisan, metodologi penelitian, sistematika penulisan, dan relevansi. |
| Bab 2 | Dasar Teori
Membahas pengertian busur api, perhitungan busur api sesuai standar IEEE 1584-2002 dan perhitungan busur api dengan metode kurva batas energi. |
| Bab 3 | Sistem Kelistrikan PT. Chandra Asri dan PT Tri Polyta.
Bab ini berisi penjelasan sistem kelistrikan pada PT Chandra Asri dan PT Tri Polyta beserta rele proteksi yang digunakan pada kedua plant |
| Bab 4 | Simulasi dan Analisis
Bab ini membahas tentang hasil simulasi yang telah dilakukan serta analisis perbandingan besar nilai insiden energi berdasarkan standar IEEE 1584-2002 dengan kurva batas energi |
| Bab 5 | Penutup
Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari simulasi dan analisa yang dilakukan. |

1.7 Relevansi

Penulisan Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

- 1) Dapat digunakan sebagai referensi PT. Chandra Asri dan PT Tri Polyta dalam penentuan standar PPE untuk pekerja listrik
- 2) Dapat mempermudah dalam penentuan kategori PPE dalam mengatasi bahaya Arc-Flash jika menggunakan metode kurva batas energi

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Pengertian Busur Api

Arc flash atau busur api listrik adalah suatu kondisi berbahaya disertai dengan adanya pelepasan energi yang disebabkan oleh *arcing* listrik [1]. *Arc flash* dapat menghasilkan temperatur sampai 35000° F. Ketika terjadi *arc flash* akan ada cahaya berintensitas tinggi yang dapat merusak mata dan juga ledakan udara yang sangat panas yang dapat menyebabkan luka bakar. Selain hal itu juga terjadi ledakan suara yang sangat keras dan lelehan besi yang sangat berbahaya bagi keselamatan [3]. Fenomena *arc flash* dapat mengakibatkan *arc blast* yaitu konduktor dan udara di sekeliling busur dipanaskan dan menguap menyebabkan tekanan gelombang yang sering menyebabkan peralatan, bahan isolasi, dan struktur pendukung meledak dengan kekuatan tinggi yang dapat mengancam keselamatan pekerja [5].

Ada beberapa hal yang menyebabkan terjadinya *arc flash*, diantaranya :

- Debu, pengaratian, binatang.
- *Spark discharge* dari sentuhan/ peralatan yang terjatuh.
- Kegagalan isolasi dari peralatan
- Kegagalan kerja peralatan pengaman

Besar energi yang dihasilkan *arc flash* dipengaruhi beberapa hal, diantaranya adalah besar level tegangan, jarak antar konduktor, dan juga waktu kerja rele untuk mengisolasi gangguan yang terjadi [2].

2.2 Metode Perhitungan Busur Api dengan Menggunakan Standar IEEE 1584-2002 [1].

Pada perhitungan dengan standar IEEE 1584-2002 yang harus pertama kali diketahui adalah nilai dari *arcing fault*. Nilai *arcing fault* dapat digunakan perhitungan selanjutnya.

Untuk perhitungan *arcing fault* pada level tegangan dibawah 1kV dapat diselesaikan dengan persamaan berikut :

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf}) \dots\dots\dots(2.1)$$

Untuk perhitungan *arcing fault* pada level tegangan antara 1kV-15kV dapat diselesaikan dengan persamaan :

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \lg I_{bf} \dots\dots\dots(2.2)$$

Lalu nilai I_a dapat diperoleh :

$$I_a = 10^{\lg I_a} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

- \lg = \log_{10}
- I_a = arus arcing (kA)
- K = konstanta untuk konfigurasi terbuka = -0,153 dan konstanta untuk konfigurasi box = -0,097
- $\lg I_{bf}$ = bolted fault current pada gangguan tiga fase (symmetrical RMS) (kA)
- V = tegangan sistem (kV)
- G = jarak celah antar konduktor (mm)

Setelah nilai *arcing current* diketahui maka nilai dari *incident energy* normalisasi dapat dihitung. Dalam perhitungan besar energy yang normal, menggunakan referensi waktu *arcing* dengan durasi 0,2 detik dan jarak dari titik *arcing* ke manusia sebesar 610 mm. Persamaan yang digunakan adalah :

$$\lg E_n = K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

- E_n = *incident energy* (J/cm²) *normalized* untuk waktu dan jarak
- $K1$ = -0,792 untuk konfigurasi terbuka (*no enclosure*)
-0,555 untuk konfigurasi box (*enclosed equipment*)
- $K2$ = 0 untuk sistem *ungrounded and high-resistance grounded*
-0,113 untuk sistem *grounded*
- G = jarak/celah antar konduktor (mm)

Untuk mendapatkan nilai G (jarak antar konduktor) dapat mengikuti standar yang sudah ada. Peralatan yang digunakan dalam sistem kelistrikan PT. Chandra Asri menggunakan *switchgear*

bertegangan 6 kV. Dalam tabel 2.1 dijelaskan untuk jarak celah bus pada beberapa peralatan lain dengan referensi dari IEEE 1584-2002.

Tabel 2.1 Tabel data jarak celah bus (Jarak Bus) [1]

Kelas Peralatan	Jarak celah antar konduktor (mm)
<i>6-15kV Switchgear</i>	153
<i>5kV Switchgear</i>	102
<i>Low voltage switchgear</i>	32
<i>Low voltages MCCs and panelboards</i>	25
<i>Cable</i>	13
<i>Other</i>	<i>Not required</i>

Setelah itu besar energi E_n dapat diketahui :

$$E_n = 10^{\lg E_n} \dots \dots \dots (2.5)$$

Setelah nilai E_n didapatkan, untuk menghitung besar insiden energi E digunakan persamaan :

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right) \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

- E = *incident energy* (J/cm²)
- C_f = faktor pengali
1,0 untuk tegangan diatas 1kV, dan
1,5 untuk tegangan dibawah 1kV
- E_n = *incident energy normalized*
- T = waktu *arcing* (detik)
- D = jarak kerja (mm)
- X = jarak exponent

Untuk memenuhi semua parameter-parameter dalam menghitung besarnya insiden energi (E) dapat melihat pada tabel 2.2. Parameter yang dapat dicari dalam tabel ini yaitu jarak celah antar konduktor (G), jarak eksponen (x), dan jarak kerja (D). Adapun nilai dari parameter-parameter yang dimaksud adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Tabel data parameter-parameter yang dibutuhkan untuk perhitungan insiden energi

Level Tegangan (kV)	Jenis Peralatan	Jarak celah antar konduktor (mm)	Jarak eksponen	Jarak kerja (mm)
0,208 – 1	<i>Open air</i>	10–40	2	-
	<i>Switchgear</i>	32	1,473	455
	<i>MCC and panels</i>	25	1,641	455
	<i>Cable</i>	13	2	455
> 1 – 5	<i>Open air</i>	102	2	-
	<i>Switchgear</i>	13–102	0,973	610
	<i>Cable</i>	13	2	455
>5 – 15	<i>Open air</i>	13–153	2	-
	<i>Switchgear</i>	153	0,973	910
	<i>Cable</i>	13	2	455

Ketika level tegangan berada diatas 15kV, maka untuk menghitung insiden energi dapat menggunakan metode Lee.

$$E = 2,142 \times 10^6 V I_{bf} \left(\frac{t}{D^2} \right) \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana :

- E = *incident energy* (J/cm²)
- V = level tegangan (kV)
- t = waktu *arcing* (detik)
- D = jarak kerja (mm)
- I_{bf} = *bolted fault current*

2.3 Metode Perhitungan Busur Api dengan Kurva Batas Energi

Pengertian insiden energi menurut IEEE 1584 didefinisikan sebagai jumlah energi yang besar di permukaan, pada jarak tertentu dari

sumber, yang dihasilkan selama terjadinya busur listrik. Pada tegangan 1kV sampai dengan 15 kV besarnya insiden energi dalam sistem tenaga listrik dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E = 4,184 C_f E_n \frac{t}{0,2} \frac{610^x}{D^x} \text{ (J/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

- C_f = Faktor perhitungan berdasarkan pada tegangan sistem (1,5 untuk tegangan dibawah 1kV dan 1,0 untuk 1-15kV)
- E_n = Insiden energi saat keadaan normal (J/cm^2)
- t = Lamanya gangguan arcing (detik)
- D = Jarak pekerja dari sumber arc (millimeter)
- x = Jarak eksponen berdasarkan tabel 4 IEEE 1584

Nilai dari E_n dan t akan bergantung pada besarnya arus gangguan pada lokasi yang dipertimbangkan dan karakteristik dari peralatan proteksi arus lebih (OCPD) pada bagian *upstream*. Persamaannya (2.8) dapat ditulis ulang sebagai berikut:

$$t = \frac{E}{A_1 E_n} \text{ (detik)} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana A_1 adalah konstanta, dituliskan sebagai berikut:

$$A_1 = 4,184 \frac{C_f}{0,2} \left(\frac{610^x}{D^x} \right) \dots\dots\dots (2.10)$$

IEEE 1584 menjelaskan incident energy normalisasi (E_n) sebagai berikut:

$$\text{Log } E_n = K_1 + K_2 + 1,081 \log I_a + 0,0011 G \dots\dots (2.11)$$

Dimana:

- K_1 = konstanta yang berhubungan dengan peralatan (-0,792) untuk konfigurasi “open-air”; -0,555 untuk peralatan tertutup),
- K_2 = konstanta yang tergantung pada grounding sistem (-0,113 untuk sistem dengan grounding; 0 untuk sistem yang tidak digrounding atau untuk sistem dengan impedansi grounding),
- I_a = arus gangguan arcing (kA),
- G = jarak bus antar konduktor (mm).

Dengan menggabungkan persamaan (2.9) dengan persamaan (2.11) maka diperoleh persamaan kurva batas energi sebagai berikut:

$$t = \frac{E}{A_1 A' 2 I_a^{1,081}} \text{ (detik)} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana A_2 adalah konstan yang dituliskan sebagai berikut

$$A_2 = K_1 + K_2 + 0,0011 G \dots\dots\dots(2.13)$$

$$A'_2 = 10^{A_2} \dots\dots\dots(2.14)$$

Setelah konstanta didefinisikan berdasarkan pada peralatan dan konfigurasi sistem, nilai insiden energi E dapat dipilih berdasarkan kategori 1-4 PPE sesuai NFPA 70E-2004, dan persamaan (2.12) dapat digunakan untuk menentukan hubungan arus-waktu yang sesuai dengan tingkat energi insiden yang dipilih. Seperti ditunjukkan dalam kurva yang menghubungkan poin arus-waktu sesuai dengan tingkat insiden energi yang diberikan muncul linear pada grafik log-log. Persamaan (2.12) dapat diterapkan dilokasi dalam kisaran IEEE 1584 dengan range penerapan (208V - 15 kV, tiga fase, dan dengan tingkat arus bolted fault 700A-106 kA).

Untuk lokasi yang berada di luar jangkauan persamaan (2.8), nilai tegangan diatas 15kV, metode Lee dapat digunakan untuk menentukan kurva batas energi. Sehingga insiden energi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$E = 2,142 \times 10^6 V I_{bf} \left(\frac{t}{D^2} \right) \left(\frac{J}{cm^2} \right) \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana:

- V = tegangan sistem (kV)
- I_{bf} = nilai arus bolted fault (kA)
- t = lama arus busur api (detik)
- D = jarak pekerja (milimeter)

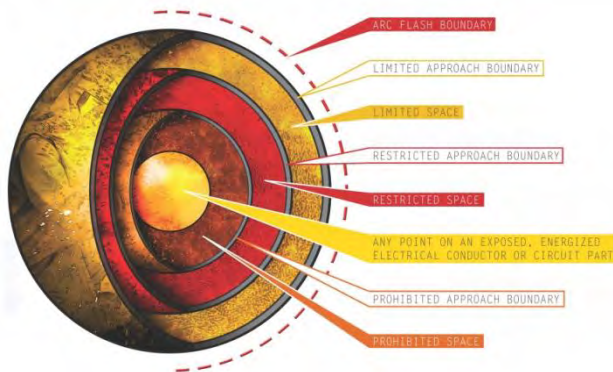
Dan persamaan kurva batas energinya menjadi sebagai berikut:

$$t = \frac{E D^2}{2,142 \times 10^6 V I_{bf}} \dots\dots\dots(2.16)$$

Perbedaanya dengan persamaan (2.12), persamaan (2.16) berdasarkan pada arus bolted fault, tetapi nilai arus gangguan arcng masih diperlukan untuk menentukan lamanya waktu arus arcng. Jumlah energi yang dihasilkan *arc-flash* tergantung dari level tegangan tempat arus gangguan terjadi, jarak pekerja dengan sumber arcng dan waktu yang dibutuhkan peralatan pengaman arus lebih untuk menghilangkan dan mengisolir gangguan.

2.4 Jarak Aman Perlindungan [6]

Definisi dari jarak aman perlindungan sesuai penjelasan dari NFPA 70E-2004 adalah sebuah pendekatan mengenai batas dimana seseorang akan menerima luka bakar tingkat dua jika terkena busur api. Ada beberapa zona yang terdapat dalam insiden Busur Api. Teori *Flash Protection Boundary* menggambarkan zona tersebut seperti bola imajiner yang mengelilingi titik *arc* dimana jika seseorang berada di pusat bola tersebut maka dapat dipastikan orang tersebut akan menderita luka bakar tingkat kedua. *Flash Protection Boundary* juga mendefinisikan tingkat *incident energi* sebagai jumlah energi pada permukaan dan jarak tertentu dari sumber yang dihasilkan selama acara insiden *arc flash*.



Gambar 2.1 Ilustrasi Zona *Flash Protection Boundary*

Berikut ini adalah penjelasan tentang zona yang terdapat pada *Flash Protection Boundary* :

a. *Limited Approach Boundary*

Batas pendekatan jarak dari bagian konduktor aktif dimana terdapat sebuah bahaya sengatan listrik.

b. *Restricted Approach Boundary*

Batas pendekatan jarak dari bagian konduktor aktif dimana terdapat peningkatan resiko *shock* yang terjadi karena busur api dikombinasikan dengan gerakan tidak sengaja pekerja.

c. *Prohibited Approach Boundary*

Batas pendekatan jarak dari konduktor aktif dimana pekerja dianggap seperti melakukan kontak langsung dengan konduktor aktif.



Gambar 2.2 Pembagian Zona *Flash Protection Boundary*

Persamaan untuk perhitungan jarak aman perlindungan berdasarkan IEEE 1584 mengacu pada besarnya insiden energi normalisasi dari busur api. Namun ketika menggunakan analisa metode kurva batas energi, nilai tepat mengenai insiden energi normalisasi tidak dihitung. Bagaimanapun akhirnya untuk menghitung jarak aman pekerja tetap harus dilakukan. Perhitungannya kali ini mengacu pada besarnya nilai insiden energi pada tiap-tiap kategori. Sehingga yang diperoleh adalah nilai jarak maksimum untuk setiap masing-masing kategori.

Perhitungan level insiden energi (E_{WD}) untuk sistem tegangan 6 kV pada jarak kerja (D_{WD}) adalah :

$$EW_D = 4,184 C_f En \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x WD} \right) \dots \dots \dots (2.17)$$

Sedangkan perhitungan level insiden energi (E_B) pada jarak aman perlindungan (D_B) adalah.

$$E_B = 4,184 C_f En \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x B} \right) \dots \dots \dots (2.18)$$

Jika persamaan (2.17) diatas dibagi dengan persamaan (2.18) maka :

$$\frac{E_B}{E_{WD}} = \left(\frac{D_B}{D_{WD}} \right)^{-x} \dots \dots \dots (2.19)$$

Sehingga untuk mencari jarak aman tiap kategori PPE :

$$D_B = \frac{D_{WD}}{\sqrt[2]{\frac{E_B}{E_{WD}}}} \dots \dots \dots (2.20)$$

Sedangkan untuk sistem 20 kV sebagai berikut :

$$D_B = \frac{D_{WD}}{\sqrt[2]{\frac{E_B}{E_{WD}}}} \dots \dots \dots (2.21)$$


2.5 Pengelompokan kategori PPE Sesuai dengan Standart NFPA 70E – 2004.[4]



Setelah plot karakteristik rele dan kurva batas energi dilakukan, maka dapat ditentukan PPE yang harus dipakai oleh pekerja atau siapapun yang akan menuju ke area tersebut.

PPE ini dikategorikan berdasarkan besarnya insiden energi pada busur api menurut Standar NFPA 70E – 2004 dengan memperhatikan dampak yang ditimbulkan dari luka bakar.

Berikut adalah tabel dari PPEsesuai dengan standar NFPA 70E-2004 sebagai berikut:

Tabel 2.3 Kategori *Personal Protection Equipment (PPE)*

Bentuk PPE	Kategori Resiko Bahaya	Nilai Insiden Energi (E) maksimal (Cal/cm ²)	Perlengkapan Perlindungan
	0	2	<ul style="list-style-type: none"> - Pelindung Mata - Pelindung Telinga - Kemeja Lengan Panjang - Celana Panjang

Bentuk PPE	Kategori Resiko Bahaya	Persyaratan minimum <i>arc</i> <i>rating</i> (Cal/cm ²)	Perlengkapan Perlindungan
	1	4	<ul style="list-style-type: none"> - Pakaian Tahan Api - Pelindung Mata - Pelindung Telinga - Celana Panjang
	2	8	<ul style="list-style-type: none"> - Pelindung Wajah dan Kepala - Pakaian Tahan Api - Pelindung Mata - Pelindung Telinga - Celana Panjang

	3	25	<ul style="list-style-type: none"> - Flash Suit Hood - Pelindung Wajah dan Kepala - Pakaian Tahan Api - Pelindung Mata - Pelindung Telinga - Celana Panjang
	4	40	<ul style="list-style-type: none"> - Up to 40 cal/cm² Flash Suit Hood - Pelindung Wajah dan Kepala - Pakaian Tahan Api - Pelindung Mata - Pelindung Telinga - Celana Panjang

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN

PT CHANDRA ASRI DAN PT TRI POLYTA

PT Chandra Asri Petrochemical adalah nama baru setelah PT Chandra Asri dan PT Tri Polyta melakukan merger menjadi satu perusahaan. Merupakan perusahaan petrokimia terbesar dan terintegrasi secara vertikal di Indonesia dengan fasilitas-fasilitasnya. Jantung Operasi perusahaan adalah Lummus Naphtha Cracker yang menghasilkan Ethylene, Propylene, Mixed C4, dan Pyrolysis Gasoline (Py-Gas) berkualitas tinggi untuk Indonesia serta pasar ekspor regional.

Setelah nantinya dilakukan integrasi, total beban listrik pada PT Tripolyta akan disuplai dari PT Chandra Asri. Dimana pembangkit yang dimiliki PT. Chandra Asri yaitu GTG (Gas Turbine Generator) berkapasitas 33 MW dan STG (Steam Turbine Generator) berkapasitas 20 MW. Sedangkan tambahan dari PLN digunakan sebagai suplai cadangan sebesar 60 MVA.

3.1 Sistem Kelistrikan PT Chandra Asri

Sistem kelistrikan PT Chandra Asri terdiri dari pembangkit, distribusi dan beban. Beberapa pembangkit listrik PT Chandra Asri terdiri dari:

1. Gas Turbin Generator (GTG) kapasitas 33 MW
2. Steam Turbin Generator (STG) kapasitas 20 MW
3. PLN (GI Asahimas) kapasitas 60 MW

Adapun single line diagram PT Chandra Asri sebelum diintegrasikan adalah:

3.1.1 Distribusi Sistem Kelistrikan PT Chandra Asri

Distribusi Sistem Kelistrikan PT Chandra Asri terdiri dari 3 klasifikasi tegangan, yaitu :

- ❖ Tegangan 20 kV
Pembangkit STG dan GTG membangkitkan energi listrik pada tegangan 11 KV. Kemudian dinaikkan oleh transformator TR-2012 dan TR-2011 menjadi 20 kV. Hasil tegangan 20 kV disalurkan ke beban melalui 4 feeder utama PT. Chandra Asri.
- ❖ Tegangan 6 kV
Transformator pada seluruh feeder utama yaitu 3510-TR-6001A dan 3510-TR-6001B, 3510-TR-6002A dan 3510-TR-6002B, 3530-TR-6001A dan 3530-TR-6001B, 9500-TR-6001A dan 9500-TR-6001B menurunkan tegangan dari 20 kV menjadi 6 kV. Hal ini dimaksudkan agar tegangan 6 kV dapat menyuplai beban-beban motor yang terhubung dengan main feeder yang memiliki daya besar.
- ❖ Tegangan 0,4 kV
Tegangan ini digunakan untuk menyuplai beban motor-motor dengan daya kecil dan untuk penerangan serta keperluan administrasi PT Chandra Asri.

Dari uraian diatas dibawah disebutkan secara lengkap mengenai daftar transformator yang terdapat di PT Chandra Asri:

Tabel 3.1 Daftar transformator daya

No	ID Trafo	Kapasitas (kVA)	Tegangan (kV)	Terhubung pada bus
1	TR-2011	33000	11 ke 20	bus A-SWM-2010
2	TR-2012	21000	11 ke 20	bus A-SWM-2010
3	TR-ADM-1	1000	20 ke 0,4	bus 3-1

No	ID Trafo	Kapasitas (kVA)	Tegangan (kV)	Terhubung pada bus
4	3510-TR-6001B	15000	20 KE 6	bus 154-1
5	3510-TR-6001A	15000	20 ke 6	bus -A-1
6	3510-TR-6002B	15000	20 ke 6	bus 3510-SWM-B
7	3510-TR-6002A	15000	20 ke 6	bus 3510-SWM-A
8	3530-TR-6001B	16000	20 ke 6	bus 3530-SWM-B
9	3530-TR-6001A	16000	20 ke 6	bus 3530-SWM-A
10	9500-TR-6001B	20000	20 ke 6	bus 9500-SWM-B
11	9500-TR-6001A	20000	20 ke 6	bus 9500-SWM-A
12	TR_ADM	1000	20 ke 0,4	bus 3-1
13	3531-TR-3801	630	6 ke 0,4	bus 201
14	3512-TR-3801B	630	6 ke 0,4	bus 203
15	3510-TR-3801A	1600	6 ke 0,4	bus 195
16	3510-TR-3801B	1600	6 ke 0,4	bus 205
17	3511-TR-3801A	1000	6 ke 0,4	bus 196
18	3511-TR-3801B	1000	6 ke 0,4	bus 204
19	3512-TR-3801A	530	6 ke 0,4	bus 197
20	3513-TR-3801	630	6 ke 0,4	Bus198
21	3514-TR-3801	1000	6 ke 0,4	bus 202
22	3515-TR-3801	1250	6 ke 0,4	bus 200
23	3530-TR-3801A	1250	6 ke 0,4	bus 3530-SWL-3801
24	3530-TR-3801B	1250	6 ke 0,4	bus 3530-SWL-3801B
25	3530-TR-3802A	1250	6 ke 0,4	bus 3530-SWL-3802A
26	3530-TR-3802B	1250	6 ke 0,4	bus 3530-SWL-3802B
27	3530-TR-3803	1600	6 ke 0,4	bus 3530-SWL-3803
28	9500-TR-3801A	1600	6 ke 0,4	bus 9500-SWL-3801A

No	ID Trafo	Kapasitas (kVA)	Tegangan (kV)	Terhubung pada bus
29	9500-TR-3801B	1600	6 ke 0,4	bus 9500-SWL-3801B
30	9500-TR-3802A	1600	6 ke 0,4	bus 9500-SWL-3802A
31	9500-TR-3802B	1600	6 k3 0,4	bus 9500-SWL-3802B
32	9500-TR-3803B	1000	6 ke 0,4	bus 9500-SWL-3803B
33	TR-2	600	6 ke 0,4	bus 156
34	TR-1	800	6 ke 0,4	bus 19-1
35	TR3803A-C2	1200	6 ke 0,75	bus 37-1
36	TR-3803A-C1	1200	6 ke 0,75	bus 35-1

3.1.2 Klasifikasi Beban PT Chandra Asri

PT Chandra Asri mempunyai 4 main feeder yang diklasifikasikan berdasarkan beban prioritas dan non prioritas. Beban prioritas memerlukan kontinuitas daya listrik yang tinggi dan stabil karena apabila suplai terputus maka akan mengakibatkan penurunan kualitas hasil produksi. Kondisi terburuknya dapat muncul ledakan yang membahayakan lingkungan sekitar.

Daftar main feeder yang terdapat pada Single Line Diagram PT Chandra Asri :

1. Feeder Main Utility 1

Main Utility 1 bekerja pada tegangan 6 kV, terdiri dari bus 154-1 yang disuplai dari transformator 3510-TR-6001 B dan bus A-1 yang disuplai dari transformator 3510-TR-6001A. Feeder main utility menyuplai beban-beban seperti CCR, CW/SW, WWT, Water Treatment, Admin dan Tank Yard Amonia. Tank yard Amonia adalah beban prioritas yang memerlukan kontinuitas daya listrik yang tinggi dan stabil karena apabila suplai terputus akan menimbulkan bahaya ledakan karena alat pengaman tangki seperti kontrol tekanan dan kontrol suhu tidak bekerja.

Mayoritas beban pada feeder main utility 1 adalah motor dengan tegangan kerja 6 kV, motor dengan tegangan kerja 0.4 kV serta lump merupakan beban gabungan yang terdiri dari motor kapasitas kecil dan beban-beban lampu atau non motor.

Data beban-beban pada main utility 1 dapat dilihat pada tabel 3.2 yang memperlihatkan data beban motor dan pada tabel 3.3 memperlihatkan data lump.

Tabel 3.2 Daftar motor feeder main utility 1

No	ID Motor	Tegangan kerja (kV)	Kapasitas Daya (kW)
1	GB-5101C-M	6	725
2	GA-4101D-M	6	1900
3	GA-9002A-M	6	500
4	GB-5101B-M	6	725
5	GA-4101C-M	6	1900
6	GA-4102B-M	6	1900
7	GA-4202B-M	6	185
8	GB-2001B-M	6	355
9	GA-4001D-M	6	2200
10	GB-5101E-M	6	725
11	GB-2001A-M	6	355
12	GA-2001C-M	6	355
13	GA-4001C-M	6	2200
14	GB-5101D-M	6	725

Tabel 3.3 Data beban lump pada feeder main utility 1

No	ID Lump	Tegangan kerja (kV)	Kapasitas daya (kVA)
1	Berth C	6	200
2	CCR	0,38	630
3	Lump 39-1	0,38	1000

No	ID Lump	Tegangan kerja (kV)	Kapasitas daya (kVA)
4	CW/SW	0,38	630
5	water Treatment	0,38	1000
6	Lump-*6	0,38	1600
7	CW/SW.	0,38	630
8	Lump *8	0,38	1000
9	Lump 39	0,38	1250
10	ADMIN	6	1000
11	main utility	0,38	1600

2. Feeder Main Utility 2

Pada feeder ini menggunakan tegangan kerja sebesar 6kV. Main Utility 2 terdiri dari bus 3510-SWM-6002-B yang mendapatkan suplai dari transformator 3510-TR-6002-B dengan kapasitas 15 MVA dan bus 3510-SWM-6002-A yang mendapatkan suplai dari transformator 3510-SWM-6002-A dengan kapasitas 15 MVA. Feeder main utility menyuplai beban motor untuk penunjang proses produksi dan lump yang mempresentasikan beban motor dan beban lain.

Beban-beban pada feeder main utility 2 dapat dilihat pada tabel 3.4 dan tabel 3.5. Pada tabel 3.4 memperlihatkan data beban motor sedangkan pada tabel 3.5 memperlihatkan data lump.

Tabel 3.4 Data motor yang ada pada feeder main utility 2

No	ID Motor	Tegangan kerja (kV)	kapasitas daya (KW)
1	GA-5101E-M	6	725
2	GB-5101D-M	6	725
3	GA-4001C-M	6	2200
4	GA-2002C-M	6	355
5	GB-2001A-M	6	355
6	GB-2001B-M	6	355
7	GA-4001O-M	6	2200

No	ID Motor	Tegangan kerja (kV)	kapasitas daya (KW)
8	GA-4202B-M	6	185
9	GA-4102B-M	6	1900

Tabel 3.5 Data lump yang ada pada feeder main utility 2.

No	ID Lump	Tegangan kerja (kV)	Kapasitas daya (kVA)
1	N2- Generation	6	2000
2	Chlorinator	6	532

3. Feeder Ethylene

Feeder Ethylene bekerja pada tegangan 6kV, terdiri dari bus 3530-SWM-6001A yang mendapatkan suplai dari transformator 3530-TR-6001 A dengan kapasitas daya 16 MVA dan bus 3530-SWM-6001 B yang mendapatkan suplai dari transformator 3530-TR-6001 B dengan kapasitas daya 16 MVA. Feeder ethylene menyuplai beban-beban untuk proses produksi bahan kimia berupa ethylene. Beban-beban tersebut adalah motor dan lump.

Data motor ditunjukkan pada tabel 3.6 sedangkan data lump ditunjukkan pada tabel 3.7

Tabel 3.6 Data motor pada feeder ethylene

No	ID Motor	Tegangan kerja (kV)	Kapasitas daya (kVA)
1	GA-1202B-M	6	170
2	GA-701C-M	6	1500
3	GA-4118-M	6	240
4	GA-301B-M	6	250
5	GB-117-M	6	200
6	GB-116-M	6	200
7	GA-108C-M	6	730
8	GB-107-M	6	355
9	GB-106-M	6	355

No	ID Motor	Tegangan kerja (kV)	Kapasitas daya (kVA)
10	GA-101C-M	6	1650
11	GB-301-M	6	3910
12	GA-101B-M	6	1650
13	GB-102-M	6	190
14	GB-103-M	6	355
15	GB-104-M	6	355
16	GB-105-M	6	355
17	GB-108B-M	6	730
18	GB-110-M	6	255
19	GB-113-M	6	200
20	GB-114-M	6	220
21	GB-115-M	6	200
22	GA-301A-M	6	250
23	GA-411A-M	6	240
24	GB-901-M	6	155
25	GA-1202A-M	6	170

Tabel 3.7 Data lump pada feeder ethylene

No	ID Lump	Tegangan kerja (kV)	Kapasitas daya(kW)
1	Lump 304	0,38	1250
2	Lump 303	0,38	1250
3	Lump 306	0,38	1250
4	Lump 305	0,38	1250
5	Lump 307	0,38	1600

4. Feeder Polyethylene

Feeder Polyethylene bekerja pada tegangan 6 kV, terdiri dari bus 9500-SWM-6001-A yang mendapatkan suplai dari transformator 9500-TR-6001-A dengan kapasitas daya 20 MVA dan bus 9500-SWM-6001-B yang mendapatkan suplai dari transformator 9500-TR-6001-B dengan kapasitas daya 20 MVA.

Tetapi dari tegangan kerja 6 kV diperlukan penurunan tegangan melalui transformer menjadi 0.75 kV untuk menyuplai beban berupa motor khusus yaitu motor YM-7004 dan motor YM-7007. Feeder ini menyuplai beban-beban untuk proses produksi bahan kimia berupa polyethylene. Beban-beban tersebut adalah motor dan lump.

Data motor ditunjukkan pada tabel 3.8 sedangkan data lump ditunjukkan pada tabel 3.9

Tabel 3.8 Data motor pada feeder polyethylene

No	ID Motor	Tegangan kerja (kV)	Kapasitas Daya (kW)
1	KM-8024	6	200
2	KM-8006	6	200
3	KM-5206	6	420
4	YM-7001	6	5800
5	KM-4003	6	3800
6	YM-7501	6	4200
7	KM-2504	6	210
8	KM-2505	6	210
9	GM-4502	6	300
10	GM-4521	6	180
11	GM-4602	6	370

No	ID Motor	Tegangan kerja (kV)	Kapasitas Daya (kW)
12	GM-4621	6	200
13	KM-5601	6	1100
14	SM-6612	6	170
15	YM-7004	0.75	800
16	YM-7007	0,75	180

Tabel 3.9 Data lump pada feeder polyethylene

No	ID Lump	Tegangan kerja (kV)	Kapasitas Daya (kW)
1	LUMP_3801A	0,38	1600
2	LUMP_3801B	0,38	1600
3	LUMP_3802A	0,38	1600
4	LUMP_3802B	0,38	1600
5	LUMP_3803B	0,38	1000

3.1.3 Beban Prioritas PT Chandra Asri

Beban prioritas memerlukan prioritas kontinuitas daya listrik yang baik dan stabil. Beban prioritas pada PT Chandra Asri adalah tank yard amonia karena apabila suplai terputus maka alat pengaman tangki seperti kontrol tekanan dan suhu akan mati dan hal ini dapat menimbulkan ledakan.

Pada main feeder main utility 1, terdapat dua beban tank yard amonia yaitu tank yard 1 dan tank yard 2. Beban tank yard 1 mendapat suplai listrik dari bus 3154-SWM-6001 sedangkan beban tank yard 2 mendapatkan suplai listrik dari bus 102-3.

Pada tabel 3.10 dan 3.11 menunjukkan data-data beban motor dan lump pada tank yard 1 sedangkan pada tabel 3.12 dan 3.13 menunjukkan data-data beban motor dan lump pada tank yard 2.

Tabel 3.10 Data motor tank yard 1

No	ID Motor	Tegangan kerja (kV)	kapasitas daya (kW)
1	GA-180A-M	6	290
2	GA-1808B-M	6	290

Tabel 3.11 Data lump tank yard 1

No	ID Lump	Tegangan kerja (kV)	Kapasitas daya (kVA)
1	Lump 39-1	0,38	1000
2	berth C	6	200

Tabel 3.12 Data motor tank yard 2

No	ID Motor	Tegangan kerja (kV)	Kapasitas Daya (kW)
1	GA-1803A-M	6	185
2	GA-1803B-M	6	185

Tabel 3.13 Data lump tank yard 2

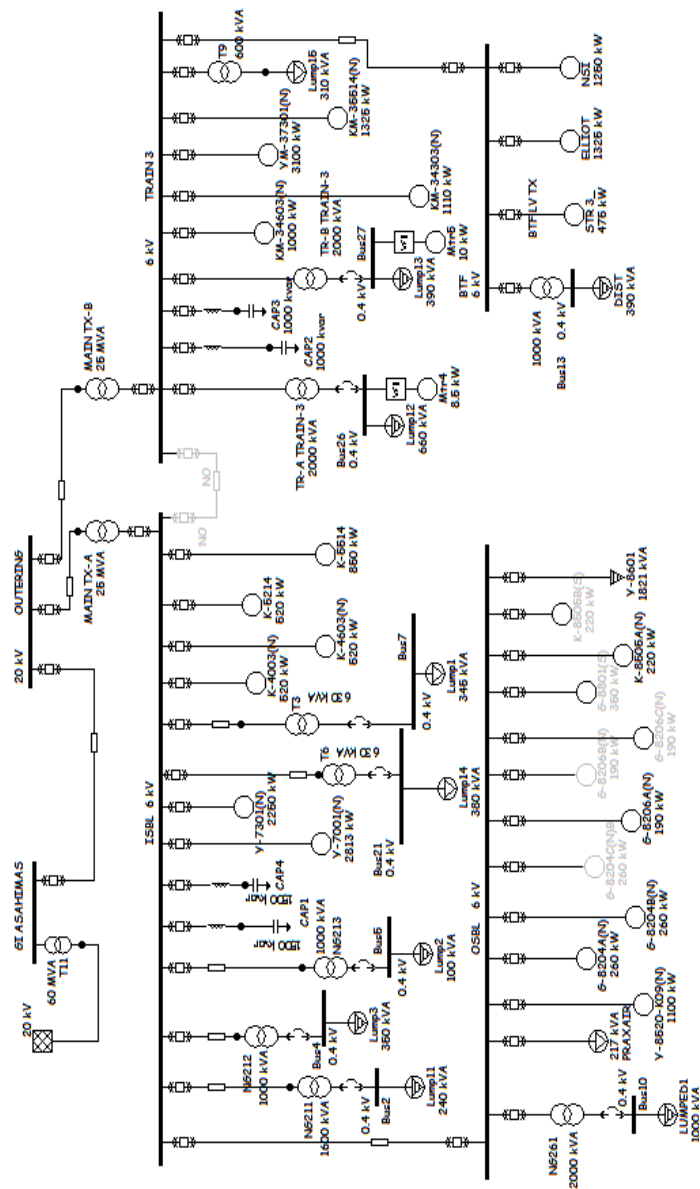
No	ID Lump	Tegangan kerja (kV)	Kapasitas Daya (kVA)
1	Lump 39	0,38	1250

3.2 Sistem Kelistrikan PT Tri Polyta

Pada kondisi sebelum integrasi, suplai energi listrik PT Tri Polyta berasal dari PLN dengan kontrak daya 30 MVA. Kemudian tegangan sebesar 150 kV diturunkan menjadi 20 kV melalui transformator T11 berdaya 60 MVA. Energi listrik disalurkan melalui feeder GI Asahimas dengan tegangan 20 kV.

Setelah dilakukan integrasi, suplai energi listrik utama berasal dari pembangkit GTG dan STG yang dimiliki PT Chandra Asri. Sedangkan suplai dari PLN diambil dari tegangan 20 kV sehingga tidak memerlukan transformator. Penyaluran energi listrik tidak melewati GI Asahimas lagi, namun melewati feeder GI Asahi. Suplai daya dari PLN

dimanfaatkan sebagai back up dan kontrak daya dinaikkan menjadi 60 MVA. Berikut ini single line diagram PT Tri Polyta:



Gambar 3.2 Single line diagram PT. Tri Polyta

3.2.1 Distribusi Sistem Kelistrikan PT Tri Polyta

Distribusi Sistem Kelistrikan PT Tri Polyta terdiri dari 3 macam tegangan, yaitu :

- ❖ Tegangan 20 kV
Tegangan 20 kV berasal dari PLN, pembangkit GTG dan STG kemudian disalurkan ke feeder GI Asahi. Energi listrik disalurkan ke PT Tri Polyta melewati feeder OUTERING. Selanjutnya penyaluran ke beban melewati proses penurunan tegangan oleh transformator Main TX A dan Main TX B menjadi 6,3 kV.
- ❖ Tegangan 6 kV
Melalui transformator Main TX A dan Main TX B yang berdaya 26 MVA tegangan sebesar 20 kV diturunkan dan selanjutnya tegangan 6 kV disalurkan ke bus ISBL dan bus TRAIN 3. Terdapat beban-beban besar yang menggunakan tegangan 6 kV sehingga dapat mengambil langsung suplainya dari feeder tersebut. Untuk beban dengan daya rendah membutuhkan penurunan tegangan menjadi 0,4 kV menggunakan transformator.
- ❖ Tegangan 0,4 kV
Tegangan 0,4 kV digunakan menyuplai beban-beban berkapasitas kecil, beban statis serta beban penerangan. beberapa bus yang menggunakan tegangan 0,4 kV yaitu bus 104, 107, 109, 121, 111, 113, 114, 117 dan 101.

Dapat disimpulkan transformator merupakan alat yang penting dan dibutuhkan untuk proses distribusi daya listrik dari pembangkit ke beban pada PT Tri Polyta. Pada tabel 3.14 disebutkan mengenai daftar transformator yang terdapat di PT Tri Polyta:

Tabel 3.14 Transformator yang digunakan PT. Tri Polyta

No	ID Transformator	Kapasitas (kVA)	Tegangan (kV)	Terhubung pada bus
1	Main TX-A	26000	20 ke 6	ISBL
2	Main TX-B	26000	20 ke 6	Train 3
3	T 30	1600	6 ke 0,4	bus 104
4	T 31	1000	6 ke 0,4	bus 107
5	T 32	1000	6 ke 0,4	bus 109
6	T 38	630	6 ke 0,4	bus 121
7	T 33	630	6 ke 0,4	bus 111
8	T 34	2000	6 ke 0,4	bus 113
9	T 35	2000	6 ke 0,4	bus 114
10	T 29	2000	6 ke 0,4	bus 101
11	T 37	1000	6 ke 0,4	bus 117
12	T 36	600	6 ke 0,4	bus 116

3.2.2 Klasifikasi Beban PT Tri Polyta

Beban kelistrikan pada PT Tri Polyta dibagi menjadi 2 main feeder, yaitu feeder bus ISBL yang disuplai oleh transformator Main TX-A dan feeder bus TRAIN 3 yang disuplai oleh transformator Main TX-B. Kedua main feeder mempunyai tegangan kerja 6 kV.

❖ Bus ISBL

Pada bus ISBL terdapat substation OSBL. Data beban-beban motor pada bus ISBL dapat dilihat pada tabel 3.15 sedangkan data beban-beban motor pada substation OSBL dapat dilihat pada tabel 3.17. Selain beban motor terdapat beban lump yang dapat dilihat pada tabel 3.16 untuk bus ISBL dan tabel 3.18 untuk substation OSBL.

Tabel 3.15 Daftar motor pada substation ISBL

No	ID Motor	Tegangan kerja (kV)	kapasitas daya (kW)
1	Mtr 80	6	2813
2	Mtr 79	6	2250
3	Mtr 78	6	520
4	Mtr 66	6	520
5	Mtr 67	6	520
6	Mtr 68	6	850

Tabel 3.16 Daftar lump pada substation ISBL

No	ID lump	Tegangan kerja (kV)	kapasitas daya (kVA)
1	Lump 42	0,4	240
2	Lump 43	0,4	350
3	Lump 44	0,4	100
4	Lump 50	0,4	380
5	Lump 45	0,4	345

Tabel 3.17 Daftar motor pada substation OSBL

No	ID Motor	Tegangan kerja (kV)	kapasitas Daya (kW)
1	Mtr 57	6	1100
2	Mtr 58	6	260
3	Mtr 56	6	260
4	Mtr 59	6	260
5	Mtr 60	6	190
6	Mtr 61	6	190
7	Mtr 62	6	190
8	Mtr 63	6	350
9	Mtr 64	6	220

Tabel 3.18 Daftar lump pada substation OSBL

No	ID lump	Tegangan kerja (kV)	Kapasitas Daya (kVA)
1	Lump 40	0,4	1000
2	Load 13	0,4	1821

❖ Bus TRAIN 3

Pada bus TRAIN 3 terdapat substation BTF. Data beban-beban motor pada bus TRAIN 3 dapat dilihat pada tabel 3.19 sedangkan data beban-beban motor pada substation BTF dapat dilihat pada tabel 3.21. Selain beban motor terdapat beban lump yang dapat dilihat pada tabel 3.20 untuk bus TRAIN 3 dan tabel 3.22 untuk substation BTF.

Tabel 3.19 Data motor pada substation Train 3

No	ID Motor	Tegangan kerja (kV)	kapasitas daya (kW)
1	Mtr 74	6	1325
2	Mtr 73	6	3100
3	Mtr 71	6	1000
4	Mtr 72	6	1110
5	Mtr 70	0,4	10
6	Mtr 69	0,4	8,5

Tabel 3.20 Data lump pada substation Train 3

No	ID Motor	Tegangan kerja (kV)	Kapasitas daya (kVA)
1	lump 46	0,4	660
2	lump 47	0,4	390
3	lump 48	6	310

Tabel 3.21 Data motor pada substation BTF

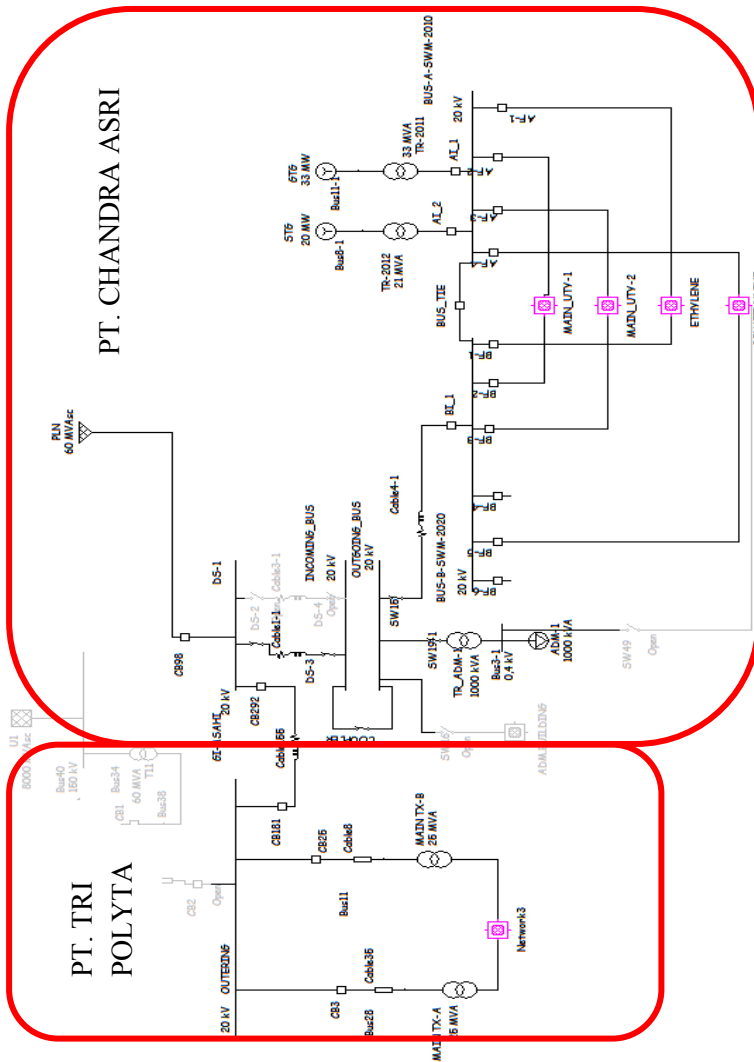
No	ID Motor	Tegangan kerja (kV)	kapasitas daya (kW)
1	Mtr 77	6	475
2	Mtr 75	6	1325
3	Mtr 76	6	1250

Tabel 3.22 Data lump pada substation BTF

No	ID lump	Tegangan kerja (kV)	kapasitas daya (kVA)
1	Lump 49	0,4	390

PT Tri Polyta membutuhkan kontinuitas daya listrik yang baik dan stabil karena proses produksi dilakukan secara berurutan sehingga apabila suplai listrik terputus maka plastik yang diproses akan sulit untuk diuraikan lagi dan hal tersebut dapat menimbulkan kerugian pada pabrik.

Setelah dilakukan integrasi antara PT Chandra Asri dan PT Tri Polyta, Single line diagram sistem kelistrikan menjadi seperti berikut :



Gambar 3.3 Single line diagram PT. Chandra Asri integrasi PT. Tri Polyta

BAB 4

HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

4.1 Analisa Busur Api

Pada tugas akhir ini membahas mengenai pembuktian penyederhanaan perhitungan busur api antara metode IEEE 1584-2002 terhadap metode penyederhanaan kurva batas energi pada sistem kelistrikan PT Chandra Asri. Adapun mengenai bus-bus yang akan dianalisa adalah sebagai berikut:

- A. Bus OUTERING
- B. Bus ISBL
- C. Bus OSBL
- D. Bus TRAIN 3
- E. Bus BTF
- F. Bus A-SWM-2010
- G. Bus A-1
- H. Bus 102-3

4.2 Perhitungan Busur Api dengan Menggunakan Standard IEEE 1584-2002

Dalam penentuan analisa busur api terlebih dahulu harus dicari besarnya arus gangguan bolted dan FCT (Fault Clearing Time) pada tiap-tiap bus. Arus gangguan bolted adalah arus hubung singkat tiga fase, $\frac{1}{2}$ cycle saat pembangkitan maksimum. Pada arus bolted ini, kontribusi arus dari beban juga ditambahkan. Sedangkan FCT adalah besarnya durasi waktu yang dibutuhkan rele untuk mengamankan gangguan. Berikut data arus bolted dan FCT ditunjukkan pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Data tegangan, Isc bolted dan FCT pada bus yang dianalisa

No	ID Bus	Tegangan (kV)	Isc Bolted (kA)	FCT (seconds)
1	OUTERING	20	31,79	0,4
2	ISBL	6	30,15	0,5
3	OSBL	6	28,44	0,116
4	TRAIN 3	6	29,34	0,35
5	BTF	6	28,55	0,142
6	A-SWM 2010	20	34,68	0,5
7	A-1	6	19,88	0,6
8	102-3	6	19,38	0,5

Dari data tabel 4.1 kemudian dihitung nilai busur apinya berdasarkan standar IEEE 1584-2002 dan didapatkan hasilnya sebagai berikut.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Busur Api Menggunakan Standard IEEE 1584-2002

No	ID BUS	Arus Arcing (kA)	Insiden Energi (cal/cm ²)	Kategori resiko bahaya
1	OUTERING	31,79	157,15	>4
2	ISBL	28,72	26,19	4
3	OSBL	27,10	5,70	2
4	TRAIN 3	27,90	17,8	3
5	BTF	27,16	7,00	2
6	A-SWM2010	34,68	214	>4
7	A-1	19,07	23,53	3
8	102-3	18,60	16,39	3

Rincian perhitungan busur api secara manual menggunakan standar IEEE 1584-2002 sebagai berikut,

Bus OUTERING

Perhitungan Arus *Arcing* (I_A)

Karena tegangan diatas 15kV digunakan metode Lee

$$I_A = I_B = 31,79$$

Perhitungan besarnya Insiden Energi

$$Incident\ Energy = 2,142 \times 10^6 \times V \times I_B \left(\frac{t}{D^2} \right)$$

$$Incident\ Energy = 2,142 \times 10^6 \times 20 \times 31,79 \times \left(\frac{0,4}{910^2} \right)$$

$$Incident\ Energy = 657,835\ J/cm^2$$

$$Incident\ Energy = 657,835 / 4,184$$

$$Incident\ Energy = 157,15\ cal/cm^2$$

Perhitungan jarak batas perlindungan

$$D_B = [2,142 \times 10^6 \times V \times I_B \left(\frac{t}{E_B} \right)]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = [2,142 \times 10^6 \times 20 \times 31,79 \left(\frac{0,4}{5}\right)^{\frac{1}{2}}]$$

$$D_B = 10,437 \text{ m}$$

Bus ISBL

Perhitungan Arus *Arcing* (I_A)

$$\log(I_A) = 0,00402 + 0,983 \log(I_B)$$

$$\log(I_A) = 0,00402 + 0,983 \log(30,15)$$

$$\log(I_A) = 1,458, \quad I_A = 28,718 \text{ kA}$$

Perhitungan besarnya Insiden Energi

$$En = 10^{K1+K2+1,081 \log(I_A) + 0,0011 G}$$

$$En = 10^{-0,555 + 0 + 1,081 \times 1,458 + 0,0011 \times 153}$$

$$En = 15,47 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 4,184 C_f En \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

$$\text{Incident Energy} = 4,184 \times 1 \times 15,47 \left(\frac{0,5}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{910^{0,973}}\right)$$

$$\text{Incident Energy} = 109,64 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 109,64 / 4,184$$

$$\text{Incident Energy} = 26,19 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan jarak batas perlindungan

$$D_B = [4,184 C_f En \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{E_B}\right)]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = [4,184 \times 1 \times 15,47 \left(\frac{0,5}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = [4,184 \times 15,47 \times 2,5 \times 102,6]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 21,74 \text{ m}$$

Bus OSBL

Perhitungan Arus *Arcing* (I_A)

$$\log(I_A) = 0,00402 + 0,983 \log(I_B)$$

$$\log(I_A) = 0,00402 + 0,983 \log(28,44)$$

$$\log(I_A) = 1,433, \quad I_A = 27,1 \text{ kA}$$

Perhitungan besarnya Insiden Energi

$$En = 10^{K1+K2+1,081 \log(I_A) + 0,0011 G}$$

$$En = 10^{-0,555 + 0 + 1,081 \times 1,433 + 0,0011 \times 153}$$

$$En = 14,53 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 4,184 \text{ Cf En } \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

$$\text{Incident Energy} = 4,184 \times 1 \times 14,53 \left(\frac{0,116}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{910^{0,973}}\right)$$

$$\text{Incident Energy} = 23,89 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 23,89 / 4,184$$

$$\text{Incident Energy} = 5,70 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan jarak batas perlindungan

$$D_B = [4,184 \text{ Cf En } \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{E_B}\right)]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = [4,184 \times 1 \times 14,53 \left(\frac{0,116}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = [4,184 \times 14,53 \times 0,58 \times 102,6]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 4,5 \text{ m}$$

Bus TRAIN 3

Perhitungan Arus Arcing (I_A)

$$\log(I_A) = 0,00402 + 0,983 \log(I_B)$$

$$\log(I_A) = 0,00402 + 0,983 \log(29,34)$$

$$\log(I_A) = 1,446, \quad I_A = 27,9 \text{ kA}$$

Perhitungan besarnya Insiden Energi

$$E_n = 10^{K1+K2+1,081 \log(I_A) + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555+0+1,081 \times 1,446+0,0011 \times 153}$$

$$E_n = 15,01 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 4,184 \text{ Cf En } \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

$$\text{Incident Energy} = 4,184 \times 1 \times 15,01 \left(\frac{0,35}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{910^{0,973}}\right)$$

$$\text{Incident Energy} = 74,47 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 63,83 / 4,184$$

$$\text{Incident Energy} = 17,8 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan jarak batas perlindungan

$$D_B = [4,184 \text{ Cf En } \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{E_B}\right)]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = [4,184 \times 1 \times 15,01 \left(\frac{0,455}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = [4,184 \times 15,01 \times 2,275 \times 102,6]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 19,1 \text{ m}$$

Bus BTF

Perhitungan Arus *Arcing* (I_A)

$$\log(I_A) = 0,00402 + 0,983 \log(I_B)$$

$$\log(I_A) = 0,00402 + 0,983 \log(28,55)$$

$$\log(I_A) = 1,434, \quad I_A = 27,16 \text{ kA}$$

Perhitungan besarnya Insiden Energi

$$E_n = 10^{K1+K2+1,081 \log(I_A) + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 + 0 + 1,081 \times 1,434 + 0,0011 \times 153}$$

$$E_n = 14,56 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

$$\text{Incident Energy} = 4,184 \times 1 \times 14,56 \left(\frac{0,142}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{910^{0,973}}\right)$$

$$\text{Incident Energy} = 29,308 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 29,308 / 4,184$$

$$\text{Incident Energy} = 7,001 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan jarak batas perlindungan

$$D_B = [4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{E_B}\right)]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = [4,184 \times 1 \times 14,56 \left(\frac{0,142}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = [4,184 \times 14,56 \times 0,71 \times 102,6]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 5,6 \text{ m}$$

Bus A-SWM-2010

Perhitungan Arus *Arcing* (I_A)

Karena tegangan diatas 15kV digunakan metode Lee

$$I_A = I_B = 34,68$$

Perhitungan besarnya Insiden Energi

$$\text{Incident Energy} = 2,142 \times 10^6 \times V \times I_B \left(\frac{t}{D^2}\right)$$

$$\text{Incident Energy} = 2,142 \times 10^6 \times 20 \times 34,68 \times \left(\frac{0,5}{910^2}\right)$$

$$\text{Incident Energy} = 897,048 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 897,048 / 4,184$$

$$\text{Incident Energy} = 214 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan jarak batas perlindungan

$$D_B = [2,142 \times 10^6 \times V \times I_B \left(\frac{t}{E_B}\right)^{\frac{1}{2}}]$$

$$D_B = [2,142 \times 10^6 \times 20 \times 34,68 \left(\frac{0,5}{5}\right)^{\frac{1}{2}}]$$

$$D_B = 12,18 \text{ m}$$

Bus A-1

Perhitungan Arus *Arcing* (I_A)

$$\log(I_A) = 0,00402 + 0,983 \log(I_B)$$

$$\log(I_A) = 0,00402 + 0,983 \log(19,88)$$

$$\log(I_A) = 1,28, \quad I_A = 19,07 \text{ Ka}$$

Perhitungan besarnya Insiden Energi

$$En = 10^{K1+K2+1,081 \log(Ia)+0,0011 G}$$

$$En = 10^{-0,555+0+1,081 \times 1,28+0,0011 \times 153}$$

$$En = 9,93 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 4,184 \text{ Cf En} \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

$$\text{Incident Energy} = 4,184 \times 1 \times 9,93 \left(\frac{0,6}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{910^{0,973}}\right)$$

$$\text{Incident Energy} = 98,53 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 98,53 / 4,184$$

$$\text{Incident Energy} = 23,53 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan jarak batas perlindungan

$$D_B = [4,184 \text{ Cf En} \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{E_B}\right)^{\frac{1}{x}}]$$

$$D_B = [4,184 \times 1 \times 9,93 \left(\frac{0,7}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)^{\frac{1}{0,973}}]$$

$$D_B = [4,184 \times 9,93 \times 3,5 \times 102,6]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = 19,4 \text{ m}$$

Bus 102-3

Perhitungan Arus *Arcing* (I_A)

$$\log(I_A) = 0,00402 + 0,983 \log(I_B)$$

$$\log(I_A) = 0,00402 + 0,983 \log(19,38)$$

$$\log(I_A) = 1,27, \quad I_A = 18,6 \text{ kA}$$

Perhitungan besarnya Insiden Energi

$$E_n = 10^{K1+K2+1,081 \log(Ia) + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555+0+1,081 \times 1,27+0,0011 \times 153}$$

$$E_n = 9,68 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

$$\text{Incident Energy} = 4,184 \times 1 \times 9,68 \left(\frac{0,5}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{910^{0,973}}\right)$$

$$\text{Incident Energy} = 68,6 \text{ J/cm}^2$$

$$\text{Incident Energy} = 68,6 / 4,184$$

$$\text{Incident Energy} = 16,39 \text{ cal/cm}^2$$

Perhitungan jarak batas perlindungan

$$D_B = [4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610^x}{E_B}\right)]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = [4,184 \times 1 \times 9,68 \left(\frac{0,5}{0,2}\right) \left(\frac{610^{0,973}}{5}\right)]^{\frac{1}{0,973}}$$

$$D_B = [4,184 \times 9,68 \times 2,5 \times 102,6]^{\frac{1}{0,973}} = 13,4\text{m}$$

4.3 Perhitungan Busur Api dengan Menggunakan Metode Kurva Batas Energi

Dalam penggunaan metode kurva batas energi hal terpenting adalah gambar kurva kategori PPE. Kurva batas energi menunjukkan hubungan antara arus - waktu dihitung untuk setiap kategori PPE. Untuk mendapatkan persamaan garis PPE tetap mengacu pada persamaan dari IEEE 1584-2002.

Pada tugas akhir ini terdapat 2 macam level tegangan sehingga parameter perhitungan arcflashnya berbeda. Nantinya persamaan kurvanya akan dihitung satu per satu dengan parameter tegangan 6 kV dan tegangan 20kV mengikuti sesuai dengan plan PT Chandra Asri.

4.3.1 Penentuan kurva batas Energi untuk tegangan 6 kV

Seperti yang telah dijelaskan pada IEEE 1584-2002 bentuk persamaannya hubungan arus-waktu untuk tegangan 1-15 kV sebagai berikut.

$$A_1 = 4,184 \frac{cf}{0,2} \left(\frac{610^x}{D^x}\right)$$

$$A_2 = k1 + k2 + (0,0011xG)$$

$$A^2 = 10^{A2}$$

$$t = \frac{E}{A1 A^2 Ia^{1,081}}$$

Adapun nilai parameternya sebagai berikut,

- Cf = 1 (untuk tegangan diatas 1 kV)
- D = 910 (jarak kerja dalam satuan mm)
- ^x = 0,973 (x faktor switchgear)
- k1 = -0,555 (peralatan tertutup)
- k2 = 0 (sistem tanpa grounding)
- G = 153 (gap antar bus untuk tegangan 5-15kV dalam satuan mm)

Sehingga,

$$\begin{aligned} A_1 &= 4,184 \frac{cf}{0,2} \left(\frac{610^x}{D^x} \right) \\ &= 4,184 \frac{1}{0,2} \left(\frac{610^{0,973}}{910^{0,973}} \right) \\ &= 14,1755636 \\ A_2 &= k1 + k2 + (0,0011xG) \\ &= -0,555 + 0 + (0,0011x 153) \\ &= -0,3876 \\ A2' &= 10^{A2} \\ &= 10^{-0,3876} \\ &= 0,410488 \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel NFPA 70E-2004 untuk kategori 0 PPE nilai E adalah 8.36J/cm² maka persamaannya,

$$\begin{aligned} t &= \frac{E}{A1 A^2 Ia^{1,081}} \\ t &= \frac{8,36}{14,1755636 \times 0,410488 \times Ia^{1,081}} \\ t &= 1,4367 \times Ia^{1,081} \end{aligned}$$

Untuk PPE kategori 1 nilai E = 16,74 J/cm² maka,

$$\begin{aligned} t &= \frac{E}{A1 A^2 Ia^{1,081}} \\ t &= \frac{16,74}{14,1755636 \times 0,410488 \times Ia^{1,081}} \\ t &= 2,8768 \times Ia^{1,081} \end{aligned}$$

Untuk PPE kategori 2 nilai $E = 33,47 \text{ J/cm}^2$ maka,

$$t = \frac{E}{A I A^2 I a^{1,081}}$$

$$t = \frac{33,47}{14,1755636 \times 0,410488 \times I a^{1,081}}$$

$$t = 5,7519 \times I a^{1,081}$$

Untuk PPE kategori 3 nilai $E = 104,6 \text{ J/cm}^2$ maka,

$$t = \frac{E}{A I A^2 I a^{1,081}}$$

$$t = \frac{104,6}{14,1755636 \times 0,410488 \times I a^{1,081}}$$

$$t = 17,9759 \times I a^{1,081}$$

Untuk PPE kategori 4 nilai $E = 167,36 \text{ J/cm}^2$ maka,

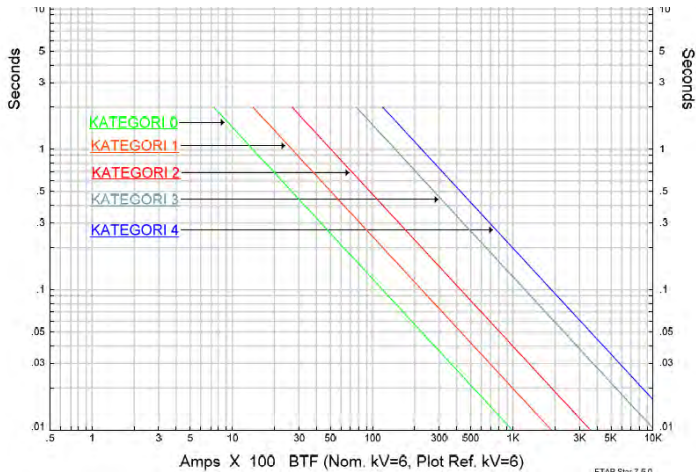
$$t = \frac{E}{A I A^2 I a^{1,081}}$$

$$t = \frac{167,36}{14,1755636 \times 0,410488 \times I a^{1,081}}$$

$$t = 28,7614 \times I a^{1,081}$$

Persamaan hubungan antara arus-waktu untuk tiap-tiap kategori PPE dibuatkan kurvanya dan dinamakan kurva batas energi. Kemudian kurva tersebut nantinya dipotongkan dengan kurva relay utama pengaman bus yang dianalisa. Berdasarkan ketentuan B.1.2 pada IEEE 1584 disebutkan bahwa pada banyak kondisi, lama waktu 2 detik adalah ‘layak’ sebagai durasi maksimum dalam analisa perhitungan busur api. Adapun untuk hasil dari plot kurva batas energi pada tegangan 6 kV switchgear ditunjukkan oleh gambar 4.1

Dan untuk pengecekan selanjutnya adalah dengan melihat kondisi antara 85%-100% nilai arus arcing dan durasi berlangsungnya sampai relay pengaman memutus gangguan (FCT). Untuk mengetahui nilai FCT dapat ditentukan dengan melihat seting waktu tunda dari relay kemudian ditambahkan 0,1 detik. Dari kedua pengecekan tersebut nantinya akan ditentukan nilai kategori PPE yang sesuai.



Gambar 4.1 Kurva batas energi untuk tegangan 1-15 kV

4.3.2 Perhitungan Kurva Batas Energi untuk Tegangan 20 kV

Seperti yang telah dijelaskan oleh IEEE 1584-2002 untuk tegangan diatas 15 kV menggunakan metode Lee. Bentuk persamaannya sebagai berikut.

$$E = 2,142 \times 10^6 V I_{bf} \left(\frac{t}{D^2} \right)$$

$$t = \frac{E D^2}{2,142 \times 10^6 V I_{bf}}$$

Adapun nilai parameternya sebagai berikut;

E = Insiden Energi tiap kategori PPE (J/cm^2)

D = 910 mm (Working distance)

V = 20 kV (Tegangan bus)

I_{bf} = Arus gangguan hubung singkat (kA)

t = waktu (s)

Untuk Kategori 0 PPE, Berdasarkan tabel NFPA 70E-2004 nilai E adalah $8,36 J/cm^2$ maka persamaannya,

$$t = \frac{8,36 \times 910^2}{2,142 \times 10^6 \times 20 \times I_{bf}}$$

$$t = 0,1616 \times I_{bf}^{-1}$$

Untuk PPE kategori 1 nilai $E = 16,74 \text{ J/cm}^2$ maka,

$$t = \frac{16,74 \times 910^2}{2,142 \times 10^6 \times 20 \times I_{bf}}$$

$$t = 0.3236 \times I_{bf}^{-1}$$

Untuk PPE kategori 2 nilai $E = 33,47 \text{ J/cm}^2$ maka,

$$t = \frac{33,47 \times 910^2}{2,142 \times 10^6 \times 20 \times I_{bf}}$$

$$t = 0.6469 \times I_{bf}^{-1}$$

Untuk PPE kategori 3 nilai $E = 104,6 \text{ J/cm}^2$ maka,

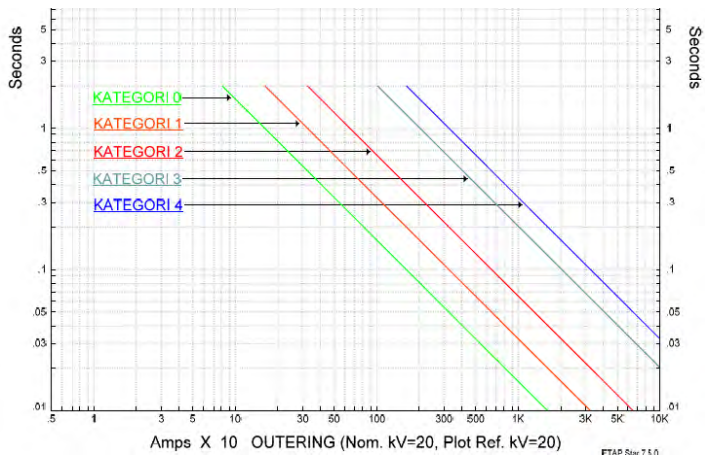
$$t = \frac{33,47 \times 910^2}{2,142 \times 10^6 \times 20 \times I_{bf}}$$

$$t = 2,0219 \times I_{bf}^{-1}$$

Untuk PPE kategori 4 nilai $E = 167,36 \text{ J/cm}^2$ maka,

$$t = \frac{167,36 \times 910^2}{2,142 \times 10^6 \times 20 \times I_{bf}}$$

$$t = 3,2351 \times I_{bf}^{-1}$$



Gambar 4.2 Kurva batas energi untuk tegangan diatas 15 kV

4.3.3 Perhitungan Jarak Aman Batas Perlindungan

Seperti yang sudah dijelaskan pada bab 2, untuk menghitung jarak aman batas perlindungan menggunakan persamaan (2.20) pada bab 2 adalah sebagai berikut :

$$D_B = \frac{D_{WD}}{X \sqrt{\frac{E_B}{E_{WD}}}} \dots \dots \dots (2.20)$$

Adapun nilai parameternya untuk sistem tegangan 6 kV adalah sebagai berikut :

D_{WD} = Jarak pekerja 910 mm

E_{WD} = Nilai insiden energi pada tiap – tiap kategori PPE (J/cm^2)

X = Faktor switchgear nilainya 0,973

D_B = Jarak aman batas perlindungan (mm)

E_B = Nilai insiden energi pada level D_B yang mengakibatkan luka bakar derajat dua, Sesuai IEEE 1584-2002 nilainya adalah $5.0 J/cm^2$

Perhitungan jarak aman batas perlindungan PPE kategori 0, $E_{wd} = 8,36 J/cm^2$:

$$D_B = \frac{910}{0,973 \sqrt{\frac{5}{8,36}}} = 1543 \text{ mm} = 1,54 \text{ meter}$$

Untuk PPE kategori 1, $E_{wd}=16,74 J/cm^2$:

$$D_B = \frac{910}{0,973 \sqrt{\frac{5}{16,74}}} = 3150 \text{ mm} = 3,15 \text{ meter}$$

Untuk PPE kategori 2, $E_{wd}=33,47 J/cm^2$:

$$D_B = \frac{910}{0,973 \sqrt{\frac{5}{33,47}}} = 6421 \text{ mm} = 6,42 \text{ meter}$$

Untuk PPE kategori 3, $E_{wd}=104,6 J/cm^2$:

$$D_B = \frac{910}{0,973 \sqrt{\frac{5}{104,6}}} = 20713 \text{ mm} = 20,71 \text{ meter}$$

Untuk PPE kategori 4, $E_{wd}=167,36 J/cm^2$:

$$D_B = \frac{910}{0,973 \sqrt{\frac{5}{167,36}}} = 33576 \text{ mm} = 33,57 \text{ meter}$$

Untuk jarak batas aman perlindungan pada sistem tegangan 20 kV sesuai dengan persamaan (2.21) pada bab 2.

$$D_B = \frac{D_{WD}}{2 \sqrt{\frac{E_B}{E_{WD}}}} \dots \dots \dots (2.21)$$

Perhitungan jarak aman batas perlindungan PPE kategori 0, Ewd = 8,36 J/cm² :

$$D_B = \frac{910}{2 \sqrt{\frac{5}{\sqrt{8,36}}}} = 1176 \text{ mm} = 1,17 \text{ meter}$$

Untuk PPE kategori 1, Ewd=16,74 J/cm² :

$$D_B = \frac{910}{2 \sqrt{\frac{5}{\sqrt{16,74}}}} = 1665 \text{ mm} = 1,66 \text{ meter}$$

Untuk PPE kategori 2, Ewd=33,47 J/cm² :

$$D_B = \frac{910}{2 \sqrt{\frac{5}{\sqrt{33,47}}}} = 2354 \text{ mm} = 2,35 \text{ meter}$$

Untuk PPE kategori 3, Ewd=104,6 J/cm² :

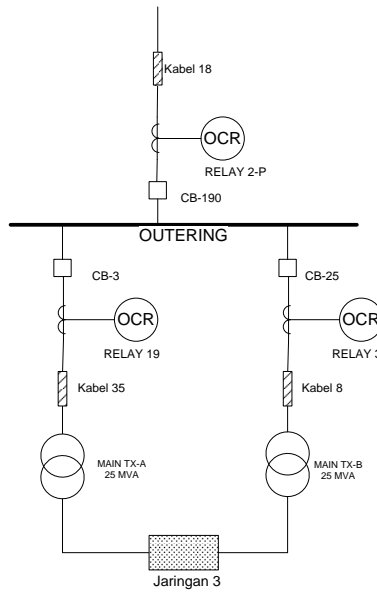
$$D_B = \frac{910}{2 \sqrt{\frac{5}{\sqrt{104,6}}}} = 4162 \text{ mm} = 4,16 \text{ meter}$$

Untuk PPE kategori 4, Ewd=167,36 J/cm² :

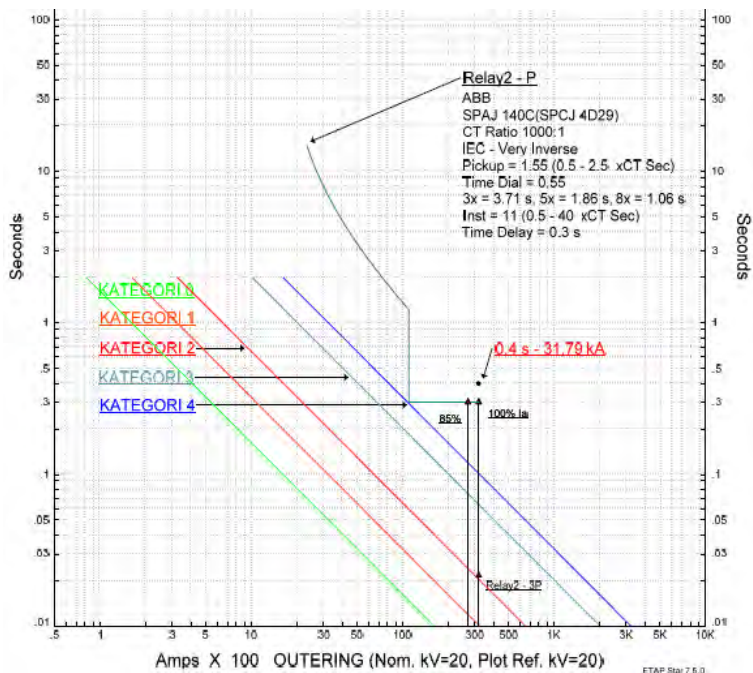
$$D_B = \frac{910}{2 \sqrt{\frac{5}{\sqrt{167,36}}}} = 5264 \text{ mm} = 5,26 \text{ meter}$$

4.3.4 Penggunaan Kurva Batas Energi untuk Menentukan PPE Bus OUTERING

Untuk menentukan nilai kategori PPE pada bus OUTERING maka referensi relay yang dipakai adalah relay 2-P. Relay tersebut merupakan relay utama yang mengamankan BUS OUTERING ketika terjadi gangguan. Sehingga pada saat terjadi gangguan, sebagian besar arus kontribusi gangguan diputus oleh relay tersebut.



Gambar 4.3 Relay 2-P sebagai pengaman utama bus OUTERING

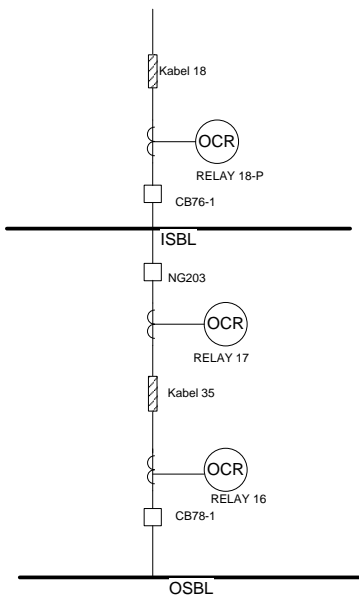


Gambar 4.4 Kurva relay2-P dengan kurva batas energi diatas 15 kV

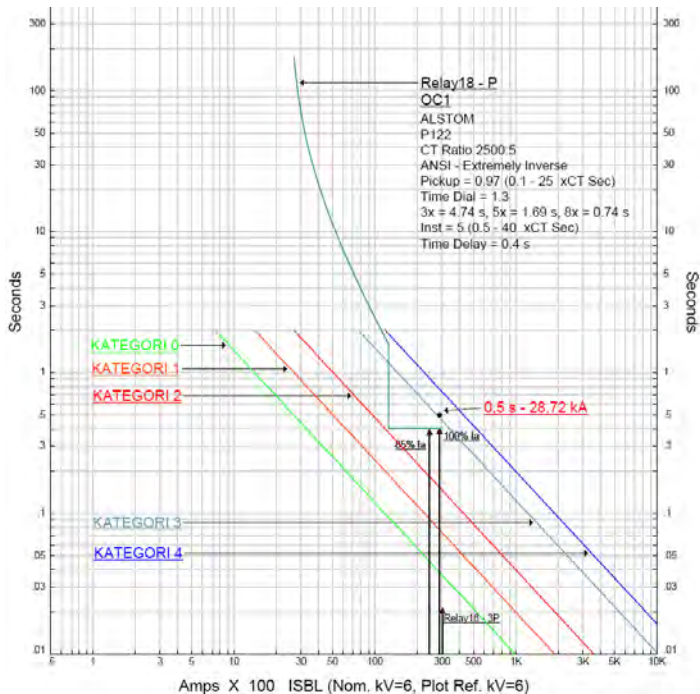
Bus OUTERING mempunyai tegangan 20 kV sehingga kurva batas energinya menggunakan kurva batas energi diatas 15 kV. Pada gambar 4.4 terlihat bahwa posisi kurva relay 2-P semua daerahnya berada diatas kurva batas energi kategori 4. Kemudian dilakukan pengecekan untuk nilai 85%-100% arus arc yang dihubungkan dengan waktu FCT pengaman relay 2-P didapat 0,4 detik. Kondisi maksimal didapat pada saat nilai arus arc 100% sebesar 31,79 kA yang berlangsung selama 0,4 detik. Titik tersebut berada diatas kurva batas energi kategori 4. Sehingga dari gambar tersebut dapat ditentukan nilai PPE yang harus digunakan pada bus OUTERING adalah lebih dari kategori 4. Jarak maksimum perlindungan aman untuk PPE kategori tersebut yaitu lebih dari 5,26 meter.

4.3.5 Penggunaan Kurva Batas Energi untuk Menentukan PPE Bus ISBL

Untuk menentukan nilai kategori PPE pada bus ISBL maka referensi relay yang dipakai adalah relay 18-P. Relay tersebut merupakan relay utama yang mengamankan BUS ISBL ketika terjadi gangguan. Sehingga pada saat terjadi gangguan, sebagian besar arus kontribusi gangguan diputus oleh relay tersebut.



Gambar 4.5 Relay 18-P sebagai pengaman utama bus ISBL

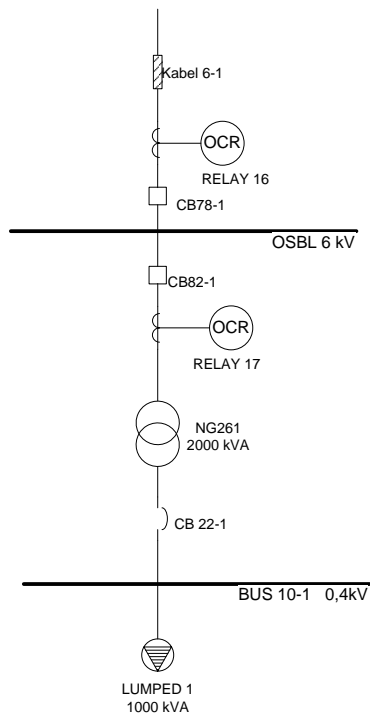


Gambar 4.6 Kurva relay 18-P dengan kurva batas energi 6 kV

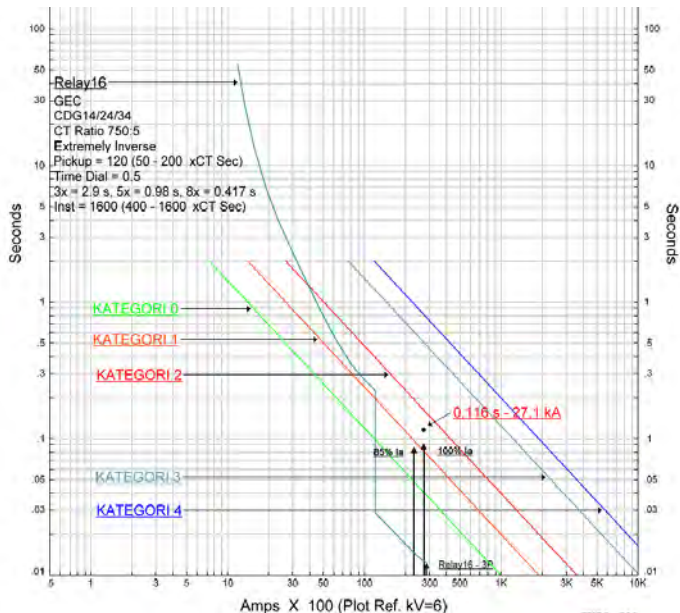
Bus ISBL mempunyai tegangan kerja 6 kV sehingga dalam penentuan PPE menggunakan referensi kurva batas energi 1-15 kV. Dari gambar 4.6 terlihat bahwa posisi kurva relay 18-P sebagian daerahnya berada dibawah dan diatas kurva batas energi kategori 3. Sesuai dengan ketentuan IEEE 1584-2002, kemudian dilakukan pengecekan berdasarkan nilai 85%-100% arus arc yang dihubungkan dengan waktu FCT pengaman relay 2-P didapat 0,5 detik. Kondisi maksimal didapat pada saat nilai arus arc 100% sebesar 28,72 kA yang berlangsung selama 0,5 detik. Titik tersebut berada diatas kurva batas energi kategori 3. Sehingga PPE kategori 3 tidak cukup untuk memenuhi daerah tersebut. Lalu dapat disimpulkan bahwa nilai PPE yang harus digunakan pada bus ISBL adalah PPE kategori 4. Jarak maksimum perlindungan aman untuk kategori tersebut adalah 33,57 meter.

4.3.6 Penggunaan Kurva Batas Energi untuk Menentukan PPE Bus OSBL

Untuk menentukan nilai kategori PPE pada bus OSBL maka referensi relay yang dipakai adalah relay 16. Relay tersebut merupakan relay utama yang mengamankan BUS OSBL ketika terjadi gangguan. Sehingga pada saat terjadi gangguan, sebagian besar arus kontribusi gangguan diputus oleh relay tersebut.



Gambar 4.7 Relay 16 sebagai pengaman utama bus OSBL

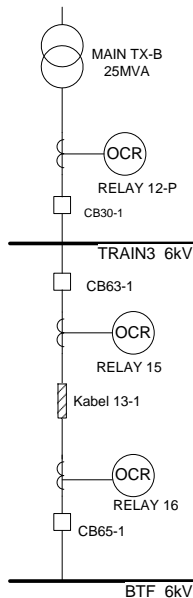


Gambar 4.8 Kurva relay 16 dengan kurva batas energi 1-15 kV

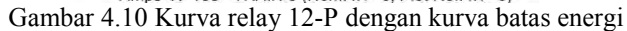
Dari gambar 4.8 terlihat bahwa posisi kurva relay 16 sebagian daerahnya berada dibawah dan diatas kurva batas energi kategori 2. Sesuai dengan ketentuan IEEE 1584-2002, kemudian dilakukan pengecekan berdasarkan nilai 85%-100% arus arcng yang dihubungkan dengan waktu FCT pengaman relay 16 didapat 0,116 detik. Kondisi maksimal didapat pada saat nilai arus arcng 100% sebesar 27,1 kA yang berlangsung selama 0,116 detik. Titik tersebut berada diatas kurva batas energi kategori 1 dan tidak sampai melampui kurva batas energi kategori 2. Meskipun ada sedikit kurva relay 16 yang daerahnya berada diatas kurva kategori 2 namun yang dijadikan acuan sesuai IEEE 1584-2002 adalah kondisi arus arcng antara 85%-100%. Sehingga PPE kategori 2 cukup untuk memenuhi daerah bus OSBL. Jarak batas perlindungan aman untuk PPE kategori tersebut adalah 6,42 meter.

4.3.7 Penggunaan Kurva Batas Energi untuk Menentukan PPE Bus TRAIN 3

Untuk menentukan nilai kategori PPE pada bus TRAIN 3 maka referensi relay yang dipakai adalah relay 12-P. Relay tersebut merupakan relay utama yang mengamankan BUS TRAIN 3 ketika terjadi gangguan. Sehingga pada saat terjadi gangguan, sebagian besar arus kontribusi gangguan diputus oleh relay tersebut.



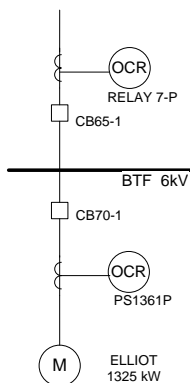
Gambar 4.9 Relay 12-P sebagai penganaman utama bus TRAIN 3



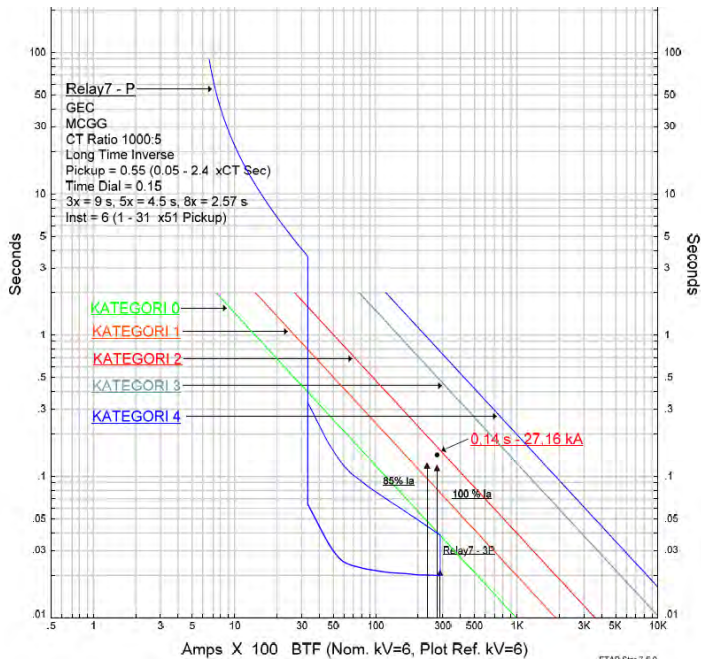
57

4.3.8 Penggunaan Kurva Batas Energi untuk Menentukan PPE Bus BTF

Untuk menentukan nilai kategori PPE pada bus BTF maka referensi relay yang dipakai adalah relay 7-P. Relay tersebut merupakan relay utama yang mengamankan BUS BTF ketika terjadi gangguan. Sehingga pada saat terjadi gangguan, sebagian besar arus kontribusi gangguan diputus oleh relay tersebut.



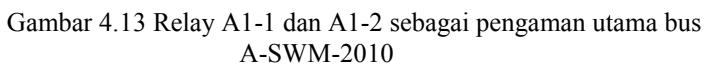
Gambar 4.11 Relay 7-P sebagai pengaman utama bus BTF

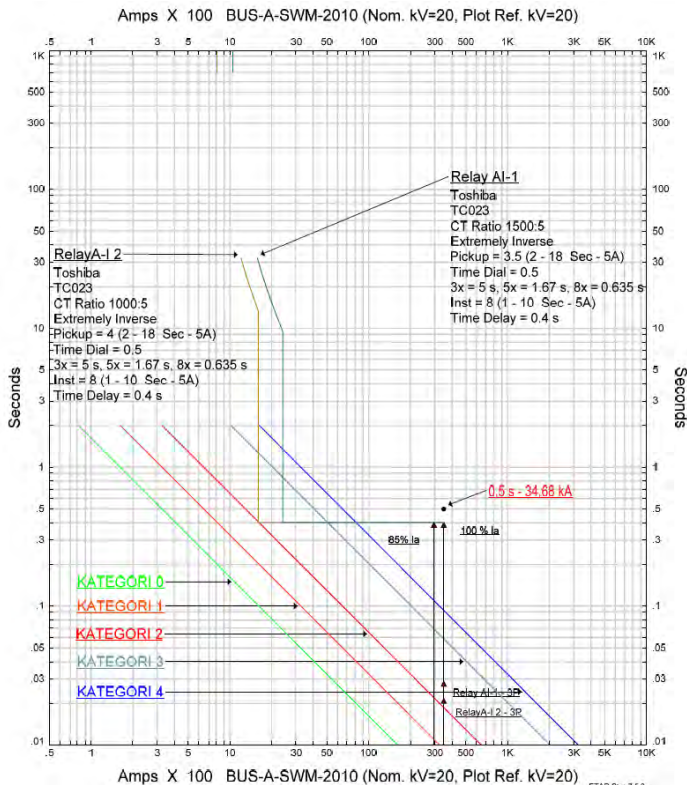


Gambar 4.12 Kurva relay 7-P dengan kurva batas energi

Pada bus BTF memiliki tegangan kerja 6 kV sehingga menggunakan referensi kurva batas energi 1-15 kV. Dari gambar 4.12 terlihat bahwa posisi kurva relay 7-P sebagian daerahnya berada dibawah dan diatas kurva batas energi kategori 2. Sesuai dengan ketentuan IEEE 1584-2002, kemudian dilakukan pengecekan berdasarkan nilai 85%-100% arus arcing yang dihubungkan dengan waktu FCT pengaman relay 7-P didapat 0,14 detik. Kondisi maksimal didapat pada saat nilai arus arcing 100% sebesar 27,16 kA yang berlangsung selama 0,14 detik. Titik tersebut berada diatas kurva batas energi kategori 1 dan tidak sampai melampaui kurva batas energi kategori 2. Meskipun ada sedikit kurva relay 7-P yang daerahnya berada diatas kurva kategori 2 namun yang dijadikan acuan sesuai IEEE 1584-2002 adalah kondisi arus arcing antara 85%-100%. Sehingga PPE kategori 2 cukup untuk memenuhi daerah bus BTF. Jarak perlindungan aman untuk PPE kategori tersebut adalah 6,42 meter.

Penentuan nilai kategori PPE pada bus A-SWM 2010 maka referensi relay yang dipakai adalah relay A1-1 dan A1-2. Dalam kasus ini digunakan 2 relay tersebut karena memiliki pengaruh sebagai penyumbang arus gangguan terbesar. Kedua Relay tersebut merupakan relay utama yang mengamankan BUS A-SWM 2010 ketika terjadi gangguan. Sehingga pada saat terjadi gangguan, sebagian besar arus kontribusi gangguan diputus oleh relay tersebut.





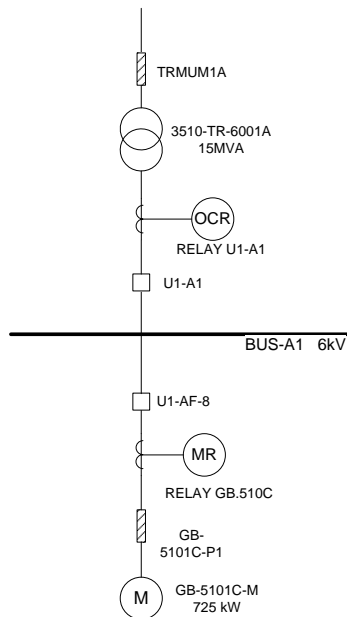
Gambar 4.14 Kurva relay AI-1 dan AI-2 dengan kurva batas energi

Pada bus SWM 2010 tegangan kerjanya 20 kV sehingga menggunakan kurva batas energi 1-15 kV. Dari gambar 4.14 terlihat bahwa posisi kurva relay AI-1 dan AI-2 sebagian daerahnya berada diatas dan dibawah kurva batas energi kategori 4. Kemudian dilakukan pengecekan untuk nilai 85%-100% arus arcng yang dihubungkan dengan waktu FCT pengamanan relay 2-P didapat 0,5 detik. Kondisi maksimal didapat pada saat nilai arus arcng 100% sebesar 34,68 kA yang berlangsung selama 0,5 detik. Titik tersebut posisinya berada diatas kurva batas energi kategori 4. Sehingga dari gambar tersebut dapat ditentukan nilai PPE yang harus digunakan pada bus A-SWM-

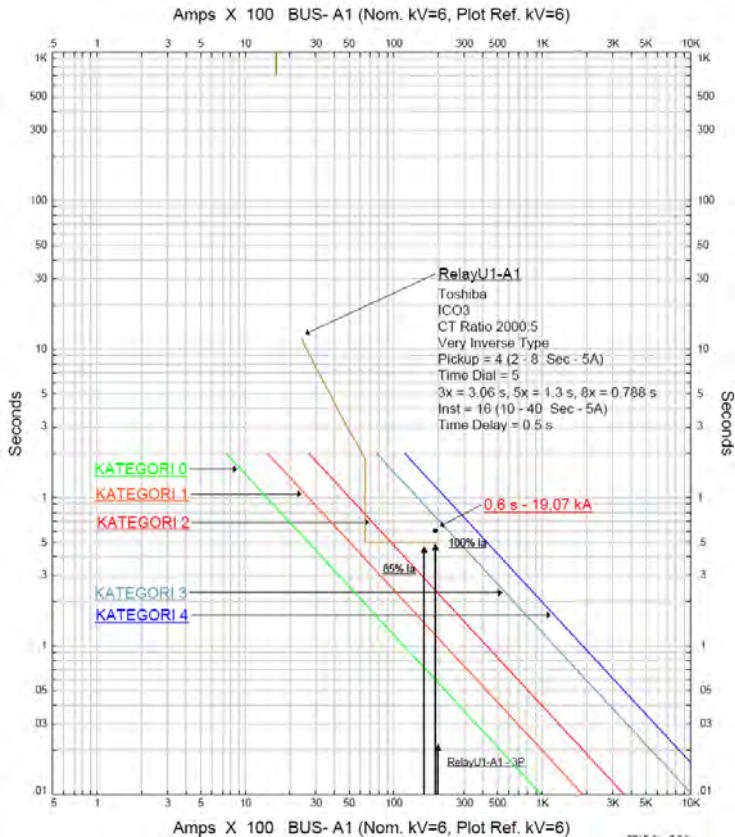
2010 adalah lebih dari kategori 4. Jarak batas aman untuk kategori tersebut adalah 5,26 meter.

4.3.10 Penggunaan Kurva Batas Energi untuk Menentukan PPE Bus A-1

Untuk menentukan nilai kategori PPE pada bus A-1 maka referensi relay yang dipakai adalah relay U1-A1. Relay tersebut merupakan relay utama yang mengamankan BUS A-1 ketika terjadi gangguan. Sehingga pada saat terjadi gangguan, sebagian besar arus kontribusi gangguan diputus oleh relay tersebut.



Gambar 4.15 Relay U1-A1 sebagai pengaman utama bus A-1



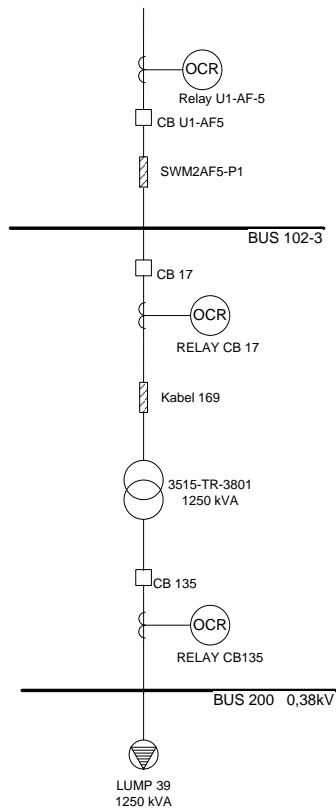
Gambar 4.16 Kurva relay U1-A1 dengan kurva batas energi

Pada bus A-1 tegangan kerjanya 6 kV sehingga menggunakan kurva batas energi 1-15 kV. Dari gambar 4.16 terlihat bahwa posisi kurva relay U1-A1 semua daerahnya berada dibawah kurva batas energi kategori 3. Sesuai dengan ketentuan IEEE 1584-2002, kemudian dilakukan pengecekan berdasarkan nilai 85%-100% arus arc yang dihubungkan dengan waktu FCT pengaman relay 7-P didapat 0,6 detik. Kondisi maksimal didapat pada saat nilai arus arc 100% sebesar 19,07 kA yang berlangsung selama 0,6 detik. Titik tersebut berada diatas kurva batas energi kategori 2 dan tidak sampai melampaui kurva batas energi kategori 3. Sehingga PPE kategori 3 cukup untuk memenuhi PPE

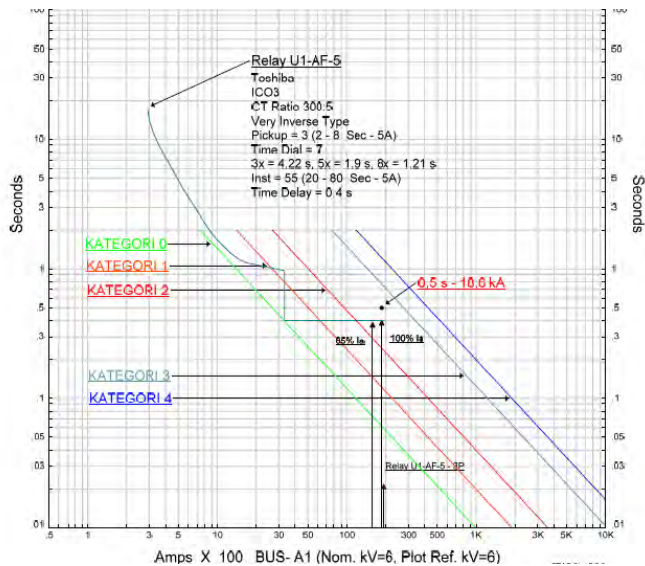
daerah bus A-1. Jarak batas perlindungan untuk kategori tersebut adalah 20,71 meter.

4.3.11 Penggunaan Kurva Batas Energi untuk Menentukan PPE Bus 102-3

Untuk menentukan nilai kategori PPE pada bus 102-3 maka referensi relay yang dipakai adalah relay U1-AF-5. Relay tersebut merupakan relay utama yang mengamankan BUS 102-3 ketika terjadi gangguan. Sehingga pada saat terjadi gangguan, sebagian besar arus kontribusi gangguan diputus oleh relay tersebut.



Gambar 4.17 Relay U1-AF-5 sebagai pengaman utama bus 102-3



Gambar 4.18 Kurva relay U1-AF-5 dengan kurva batas energi

Pada bus 102-3 tegangan kerjanya 6 kV sehingga menggunakan referensi kurva batas energi 1-15 kV. Dari gambar 4.18 terlihat bahwa posisi kurva relay U1-AF-5 semua daerahnya berada dibawah kurva batas energi kategori 3. Sesuai dengan ketentuan IEEE 1584-2002, kemudian dilakukan pengecekan berdasarkan nilai 85%-100% arus arcing yang dihubungkan dengan waktu FCT pengamanan relay U1-AF-5 didapat 0,5 detik. Kondisi maksimal didapat pada saat nilai arus arcing 100% sebesar 16,6 kA yang berlangsung selama 0,5 detik. Titik tersebut berada diatas kurva batas energi kategori 2 dan tidak sampai melampaui kurva batas energi kategori 3. Sehingga PPE kategori 3 cukup untuk memenuhi PPE daerah bus 102-3. Jarak batas aman untuk kategori tersebut adalah 20,71 meter.

4.4 Perbandingan antara Perhitungan Standar IEEE 1584-2002 dengan Kurva Batas Energi

Setelah semua bus dihitung mengenai kategori PPE yang dibutuhkan, maka dapat disimpulkan bahwa perhitungan antara metode IEEE 1584-2002 dan metode kurva batas energi adalah sama. Adapun hasil analisa dari kedua metode tersebut dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil perbandingan metode perhitungan IEEE 1584-2002 dengan metode penyederhanaan kurva batas energi

No	ID BUS	Perhitungan metode IEEE 1584-2002		Metode Kurva Batas Energi	
		HRC	Jarak Aman (meter)	HRC	Jarak Aman Maksimal (meter)
1	Bus OUTERING	>4	10,43	>4	>5,26
2	Bus ISBL	4	21,74	4	33,57
3	Bus OSBL	2	4,5	2	6,42
4	Bus TRAIN 3	3	19,1	3	20,71
5	Bus BTF	2	5,6	2	6,42
6	Bus A-SWM2010	>4	12,18	>4	>5,26
7	Bus A-1	3	19,4	3	20,71
8	Bus 102-3	3	13,4	3	20,71

Hasil perhitungan jarak batas aman perlindungan menggunakan metode kurva batas energi menunjukkan hasil yang lebih besar. Hal ini dikarenakan metode ini tidak menghitung secara tepat nilai insiden energi normalisasi dan nilai fault clearing time. Nilai yang ditunjukkan adalah nilai maksimal dari masing-masing kategori PPE. Namun untuk kategori PPE diatas 4 nilai jarak batas minimal PPE tidak dapat ditentukan. Jadi yang ditunjukkan adalah nilai maksimal jarak pada PPE kategori 4.

Dari penentuan kategori PPE yang sudah dilakukan, kemudian standar PPE yang harus digunakan sesuai dengan NFPA-70E seperti dijelaskan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Standar PPE untuk setiap bus yang dianalisa

No	ID BUS	HRC	PPE
1	Bus OUTERING	>4	<i>Up to 40 cal/cm2 flash suit hood, Pelindung wajah dan kepala, Pakaian tahan api, Pelindung mata, Pelindung telinga, Celana panjang</i>
2	Bus ISBL	4	<i>Up to 40 cal/cm2 flash suit hood, Pelindung wajah dan kepala, Pakaian tahan api, Pelindung mata, Pelindung telinga, Celana panjang</i>
3	Bus OSBL	2	<i>Pelindung wajah dan kepala, Pakaian tahan api, Pelindung mata, Pelindung telinga, Celana panjang</i>
4	Bus TRAIN 3	3	<i>Flash suit hood, Pelindung wajah dan kepala, Pakaian tahan api, Pelindung mata, Pelindung telinga, Celana panjang</i>
5	Bus BTF	2	<i>Pelindung wajah dan kepala, Pakaian tahan api, Pelindung mata, Pelindung telinga, Celana panjang</i>
6	Bus A-SWM2010	>4	<i>Up to 40 cal/cm2 flash suit hood, Pelindung wajah dan kepala, Pakaian tahan api, Pelindung mata, Pelindung telinga, Celana panjang</i>
7	Bus A-1	3	<i>Flash suit hood, Pelindung wajah dan kepala, Pakaian tahan api, Pelindung mata, Pelindung telinga, Celana panjang</i>
8	Bus 102-3	3	<i>Flash suit hood, Pelindung wajah dan kepala, Pakaian tahan api, Pelindung mata, Pelindung telinga, Celana panjang</i>

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari simulasi dan analisis pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil analisa perhitungan penyederhanaan menggunakan kurva batas energi didapatkan hasil standar kategori PPE yang sama jika dibandingkan dengan metode IEEE 1584-2002.
2. Dapat mempersingkat waktu perhitungan busur api untuk industri besar yang memiliki banyak bus. Karena dalam penentuan PPE menggunakan metode ini cukup melihat kurva dari rele/fuse kemudian di plotkan kedalam kurva batas energi sehingga didapat kategori PPE yang diperlukan.
3. Jika dibandingkan dengan metode standar IEEE 1584-2002 hasil perhitungan jarak batas aman perlindungan menggunakan kurva batas energi didapat jarak yang lebih besar. Perhitungan dengan menggunakan kurva batas energi menghasilkan jarak maksimal berdasarkan masing-masing kategori PPE. Sesuai dengan konsep penyederhanaan metode ini tidak menghitung secara tepat mengenai besar insiden energi dan fault clearing time dari suatu sistem.

5.2. Saran

Dari tugas akhir ini berikut saran yang dapat digunakan sebagai referensi untuk PT. Chandra Asri kedepannya :

1. Masih terdapat beberapa bus yang tingkat bahayanya sangat besar yaitu melebihi kategori 4, hal ini dikarenakan bus tersebut menyuplai beban-beban yang sangat besar. Cara untuk

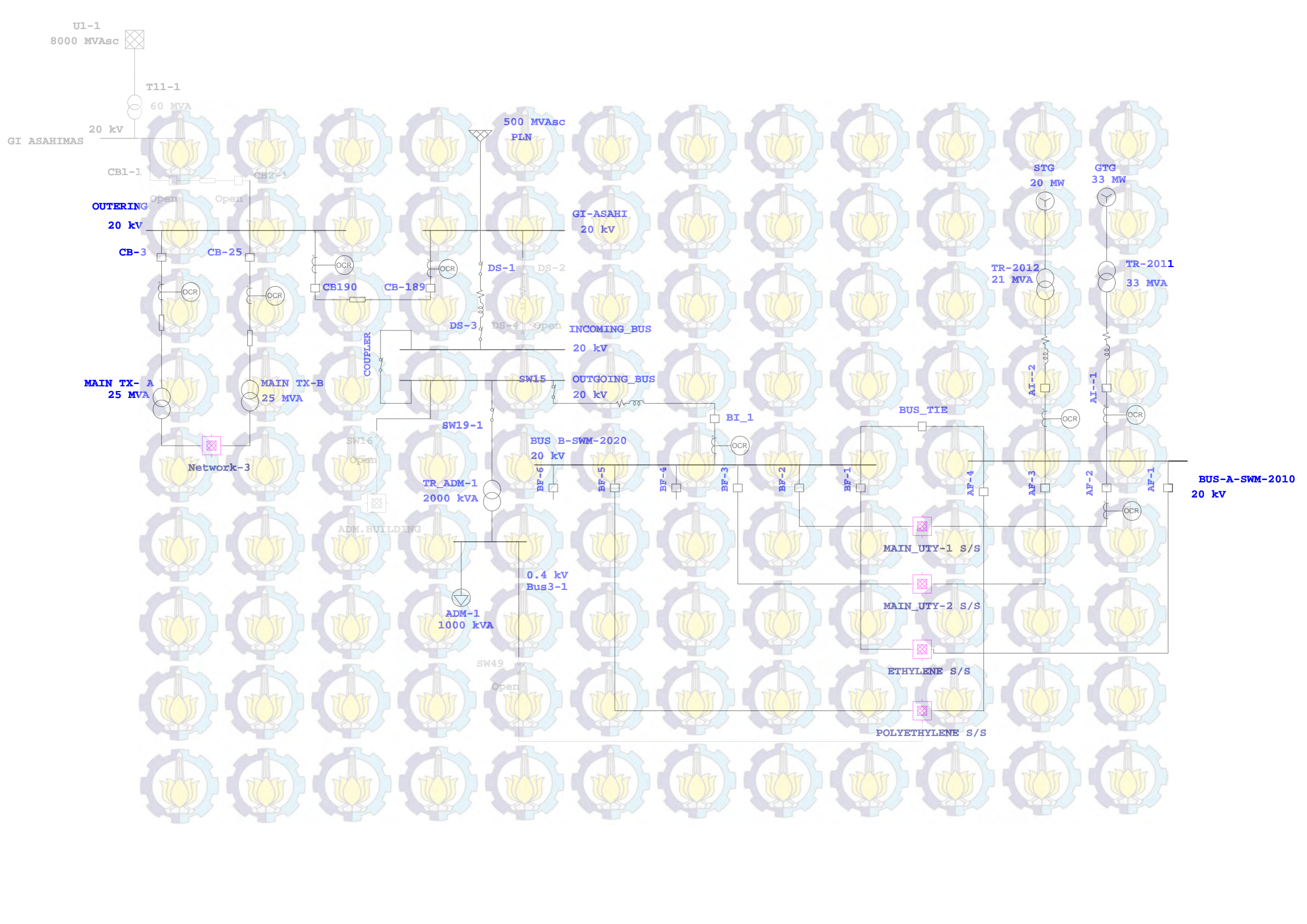
mengurangi tingkat bahaya yaitu dengan mempercepat fault clearing time pada bus tersebut. Satu-satunya cara yakni menambahkan rele differensial yang memiliki kepekaan waktu sangat baik untuk mengamankan gangguan pada bus.

2. Setelah kurva relay diplot bersama dengan kurva batas energi akan terlihat bagaimana setingan sebuah pengaman berdampak terhadap besarnya nilai busur api. Karena besarnya busur api sebanding dengan besarnya nilai arus hubung singkat dan clearing time pada suatu bus. Sehingga hal ini dapat menjadi referensi mengenai pengaman yang sesuai untuk mengurangi besarnya busur api.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. IEEE Std. 1584-2002. “*Guide for Performing Arc flash Hazard Calculations*”.
- [2]. Timothy B. Dugan, “*Reducing The Arc flash Hazard*,”*IEEE Industry Application Magazine*., May-June 2007
- [3]. Yasser Moustafa Atwa , “*Mitigating Arc-Flash Exposure*,”*IEEE Industry Application Magazine*., July-August 2011
- [4]. NFPA 70E “*Standard for Electrical Safety Requirements for Employee Workplaces*”, 2003 Edition.
- [5]. Daniel Doan, George DG, Herman O.Kemp, “*How to Hamper Hazards*,” *IEEE Industry Application Magazine*., May-June 2005
- [6]. Pfeiffer Engineering Co., Inc., Arc Flash, 2008
- [7]. Antony C.Parson, W. Blane Leuschner, Kevin X, Jiang, “*Simplified Arc-Hazard Analysis Using Energy Boundary Curves*”,*IEEE Transactions in Industry Applications* vol. 44 no. 6, November/December 2008
- [8]. Maharani, Elfrida. “*Evaluasi Arcflash Terhadap Koordinasi Proteksi di PT Chandra Asri dan PT Tri Polyta Akibat Interkoneksi dari Dua Plant*.” Jurusan Teknik Elektro, Surabaya, 2015.
- [9]. http://www.chandra-asri.com/company_profile.php

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan



BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis adalah Moh Agus Syahri Romadhon. Lahir di Pasuruan pada tanggal 28 April 1989. Penulis telah menyelesaikan studinya dari TK Masyitoh Pandaan dan melanjutkannya ke SDN 1 Kalirejo Bangil. Penulis kemudian meneruskan pendidikan di SMP N 1 Bangil. Setelah Lulus dari SMAN 1 Pandaan penulis meneruskan pendidikannya di Diploma III Institut teknologi Sepuluh Nopember Surabaya jurusan teknik elektro dengan bidang studi Computer Control. Kemudian setelah lulus penulis bekerja di bagian Reasearch and Development PT Panasonic Lighting Indonesia. Selama menjadi karyawan penulis pernah menjalani training di Niigata Jepang selama 2 minggu. Kemudian di tahun 2013, penulis melanjutkan kuliah di S1 Teknik elektro bidang studi sistem tenaga. Karena tidak bisa meneruskan pekerjaan di PT Panasonic Lighting akhirnya penulis melakukan resign dan bekerja di Kontraktor PT Galva, di daerah Surabaya. Selama perkuliahan semester I-III penulis menjadi kuliah sambil bekerja.